
SIGILLUM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
ET
VE
RI
TAS
CHRISTO ET ECCLESIAE



ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, de membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur remplissant les fonctions de secrétaire :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. l'ingénieur, secrétaire de la commission des* ANNALES DES MINES, boulevard Saint-Michel, n° 60, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

1248 — PARIS. — IMPRIMERIE CUSSET ET Ce, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME I.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49

—

1872

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1872.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

HUGO. Les Cristalloïdes complexes à sommet étoilé, in-8°, 24 p. et 3 pl. (4428)
MOUTIER. Éléments de thermodynamique, in-18 jésus, VI-163 p. (4251)
OLIVIER. Cours de géométrie descriptive, 1re partie, in-4°, XII-146 p. et atlas de 43 pl. 10f. Dunod. (2456)

2° *Physique et chimie.*

BECQUEREL. Mémoire sur la décoloration des fleurs et des divers tissus végétaux par les décharges électriques et la chaleur in-4°, 46 p. (1599)
BECQUEREL. Mémoire sur l'origine céleste de l'électricité atmosphérique, in-4°, 20 p. (4133)
DEBAUVE. Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées, 2e fascicule, physique et chimie, avec 336 fig. et 3 pl. 16f. Dunod. (2098)
KNAPP. Traité de chimie technologique et industrielle. T. I, in-8°, 321-679 p. Dunod. (4437)
TOMMASI. Action de l'iodure plombique sur quelques acétates métalliques, in-8°, 11 p. (2499)
VERDET. Œuvres. T. IV. Conférences de physique faites à l'École normale, 1re partie, in-8°, XX-482 p. (1217)
WURTZ. Dictionnaire de chimie pure et appliquée, 11e fascicule, feuilles 1 à 6 du 2e vol., in-8°, 96 p. (786)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

DEBAUVE. Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées, 3e fascicule, géologie et minéralogie, in-8°, XII-388 p., 7f,50. Dunod. (2098)

FILHOL. Description des ossements de Felis spelæa découverts dans la caverne de Lherm (Ariége), in-8°, 122 p. et 17 pl. (875)

GRUNER. Note sur l'usage de la chaux vive dans les hauts fourneaux et l'emploi du four annulaire Hoffmann pour sa préparation, in-8°, 24 p. Dunod. (4606)

LE CLERC ET DUHIL DE BENAZÉ. Recherche de la rapidité de croissance des bancs de coraux dans l'Océan Pacifique, in-8°, 25 p. avec fig. et 2 pl. (2733)

MEUNIER. Cours élémentaire de géologie appliquée, in-8°, IV-453 p. Dunod. (939)

PARRAN. Essai d'une classification stratigraphique des terrains du Gard, par étage, in-8°, 52 p. (2212)

4° *Mécanique appliquée. — Exploitation et droit des mines.*

BERTHELOT. Sur la force de la poudre et des matières explosives, in-18 jésus, 195 p. (4348)

CLAUDEL. Formules, tables et renseignements usuels, partie pratique, 2 vol. in-8°, XXXV-1604 p. et 3 pl. Dunod. 22f,50. (4575)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844. T. LXXV, in-4° 439 p. et 46 pl. (847)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844. T. LXXVI, in-4°, 360 p. et 56 pl. (2704)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, T. LXXVII, in-4° à 2 col., 419 p. et 50 pl. (4585)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

BIGNANI. La Percée des Alpes, in-18 jésus 326 p. 2 cartes et 2 facsimile. (4139)

Chemins (les) de fer d'intérêt local dans la Seine-Inférieure, in-12, 23 p. (3559)

DEBAUVE. Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées, 4e fascicule,

avec un atlas de 54 pl. Exécution des travaux, in-8°, VIII-366 p. 30 fr. Dunod. (2701)

DERSCHAU (de) Étude sur le chauffage et la ventilation des wagons de voyageurs, in-8°, 72 p. et 3 pl. (131)

DUFRESNE. Chemins de fer d'intérêt local et voies de terre du département de la Manche, in-8°, 15 p. (2707)

DUPUIT. Traité de l'équilibre des voûtes et de la construction des ponts en maçonnerie, in-4°, 398 p. et atlas de 49 pl., 60 fr. Dunod. (4594)

HARTWICH. Description du bac du chemin de fer Rhénan sur le Rhin, à Rheinhausen, près de Duisburg, in-8°, 24p. Dunod. (3288)

LAGRENÉ (de). Cours de navigation intérieure, tome 2, in-4°, et atlas, XI-22 p. Dunod. 17f,50. (1139)

LARMANJAT. Les Chemins de fer d'intérêt local, in-folio, 16 p. (3307)

MARIN. Note sur les prix de revient et les procédés de construction avec tablier métallique et voûtes en briques, établissement en sous-œuvre sous les chemins de fer en exploitation, in-4°, 71 p. Dunod. (4636)

PALAA. Dictionnaire des chemins de fer, fort in-8°, très compacte, 1200 p. (1)

PARSY. Mémoire sur l'étude pratique d'une alimentation d'eau potable pour la ville de Douai, in-8°, 45 p. avec carte et planche. (2637)

SÉRAFON. Étude sur les chemins de fer, les tramways et les moyens de transport en commun à Paris et à Londres, in-8°, VIII-111 p., Dunod. 6 fr. (3506)

6° *Sujets divers.*

Agenda Oppermann à l'usage des ingénieurs, architectes, agents voyers, conducteurs de travaux, mécaniciens, industriels, entrepreneurs. 1872, in-18, 197 p. Dunod. (283)

Annuaire des fonctionnaires du ministère des travaux publics en résidence à Paris et des administrations ressortissant au ministère, in-12, 118 p. (195)

BARATIER. Principes rationnels de la marche des impedimenta dans les grandes armées, in-12, 46 p. (4340)

CAVENNE. Le corps des ponts et chaussées, in-8°, 14. p. (1490)

DECAISNE. Le jardin fruitier du Muséum, livraisons 112 à 114, in-4°, 151 p. et 10 pl. (677)

DECAISNE ET NAUDIN. Manuel de l'amateur de jardins, traité général d'horticulture, in-8°, 661 p. (125)

DEMMIN. Histoire de la céramique en planches phototypiques inaltérables, avec texte explicatif, livraisons 41 à 44, in-folio, 4 p. et 8 pl. (1109)

DUPONT. De l'impôt, in-18 jésus, 67 p. (2871)

DUPUY DE LÔME. Note sur l'aérostat à hélice construit pour le compte de l'État, in 4°, 83 p. et 9 pl. (3579)

FAVÉ. Études sur le passé et l'avenir de l'artillerie. T. VI et dernier, in-4°, VII-538 p. et 31 pl. (867)

FIGUIER. L'Année scientique et industrielle, 15e année (1870-1871), in-8° jésus, 367 p. (874)

FIGUIER. Le Lendemain de la mort, ou la vie future selon la science, in-8° jésus, VIII-70 p. (2128)

FOURCY (de). Vade-mecum des herborisations parisiennes, in-18, XII-309 p. (4189)

FOVILLE. Moyens pratiques de combattre l'ivrognerie, proposés ou appliqués en France, en Angleterre, en Amérique, en Suède et en Norwége, in-8°, 158 p. (3798)

GOUIN. Note sur l'industrie des constructions navales en France, in-4°, 64 p. (885)

LAVIARDE. Nouvelle aérostation, in-8°, 32 p. et 19 pl. en couleur. (2424)

LENTHÉRIC. Mémoire sur les conditions nautiques du golfe et du mouillage d'Aigues-Mortes, in-8°, 28 p. Dunod. (4628)

MARCHAND. Les Torrents des Alpes et le pâturage, in-8°, 133 p. (2742)

MARION. Procédés de photographie au charbon, aux encres d'impression et aux sels d'argent, in-8°, 118 p. (1152)

MICCIOLLO-PICASSE. Ballon anermastatique dirigeable en tôle d'aluminium, in-8°, 53 p. et pl. (3866)

Ornement (l') polychrome. Cent planches en couleur, or et argent, contenant environ 2.000 motifs de tous les styles. Art ancien et asiatique, moyen âge, renaissance, XVIIe et XVIIIe siècles. Livraison 7, in-4°, 11 p. et 10 pl. (4679)

SURELL-CÉZANNE. Étude sur les torrents des Hautes-Alpes. T. II, avec vignettes et 2 pl. séparées, in-8°, XVI-390 p. Dunod. (4110)

TISSANDIER. Les Ballons dirigeables, in-18 jésus, VII-92 p. (2033)

TURGAN. Études sur l'artillerie moderne, grand in-8°, 294 p. (1445)

ANNALES
DES MINES.

DISCOURS PRONONCÉ SUR LA TOMBE DE M. COMBES,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES ET DIRECTEUR DE L'ÉCOLE DES MINES.

PAR

M. LE GÉNÉRAL MORIN,

Membre de l'Académie des Sciences.

Messieurs,

Au moment où notre section de mécanique s'occupait de remplir le vide laissé dans ses rangs par la mort de notre regretté confrère le général Piobert, un coup aussi douloureux qu'inattendu vient de la priver du précieux concours d'un des membres de l'Académie les plus dévoués à la science.

Ancien élève de l'École polytechnique, où il était entré en 1818, à l'âge de dix-sept ans, Combes (Charles-Pierre-Mathieu) en était sorti en 1820, admis dans le corps des ingénieurs des mines, dont il était destiné à devenir une des illustrations. A l'aptitude remarquable pour les sciences, dont il avait fait preuve dans cette école célèbre, il joignit de bonne heure le goût et l'art de l'observation et des applications, qui confirment ou modifient les règles de la théorie en étendant son domaine et en montrant que, s'il ne lui est pas toujours donné d'atteindre complétement le but,

elle n'en est pas moins le flambeau qui doit guider dans toutes les recherches.

Dans les premières années de sa carrière, la direction naturelle de son esprit l'engagea à s'occuper d'importantes exploitations industrielles, dont les travaux se rattachaient directement d'ailleurs aux études de l'ingénieur des mines. Celles de Sainte-Marie-aux-Mines, dans les Vosges, et les usines de Firminy le virent successivement donner des preuves de cette instruction et de cette aptitude si variées qui, développées de plus en plus dans sa longue et laborieuse carrière, en faisaient un juge si sûr dans la plupart des questions industrielles.

Son amour de l'étude et son dévouement à ses devoirs d'ingénieur le portaient à approfondir toutes les parties de son art, et on lui doit un grand nombre de travaux ausssi divers qu'importants, ainsi que l'invention de plusieurs machines ou appareils d'une grande utilité, parmi lesquels nous citerons seulement un ventilateur aspirant, spécialement applicable à l'aérage des mines humides, et un anémomètre d'un usage précieux pour les expérimentateurs.

Ne perdant jamais de vue les services que la science peut et doit rendre à l'humanité, Combes dirigeait de préférence ses études sur les questions pratiques qui se rattachaient à l'art des mines.

De nombreux mémoires insérés dans le journal des sciences mathématiques de notre savant confrère, M. Liouville, attestent sa fécondité.

Mais son travail le plus important sur ces matières, et celui qui servira longtemps encore de guide aux ingénieurs, a été son *Traité de l'exploitation des mines*, ouvrage capital, où toutes les questions sont abordées et traitées avec le secours de la science et de l'expérience.

Tant de travaux désignaient naturellement Combes pour l'enseignement des jeunes ingénieurs du corps illustre au-

quel il appartenait. Appelé successivement à professer à l'École des mines le cours d'exploitation et, plus tard, à en diriger les études, il y fit preuve de toutes les qualités qu'exigent ces importantes fonctions.

Ses nombreuses recherches scientifiques avaient depuis longtemps appelé sur lui l'attention de l'Académie, et, en 1847, il fut nommé pour succéder à Gambey.

Vous avez tous, Messieurs, pu juger que Combes n'était pas du nombre de ceux qui se reposent, quand ils ont atteint le noble but de leur ambition. Travailleur infatigable, toujours dévoué à la science, il était un des membres les plus assidus à nos séances, et de nombreux rapports sur les sujets les plus variés attestent à la fois sa fécondité et son profond sentiment du devoir.

Non moins soucieux de la dignité de l'Académie, vous l'avez toujours trouvé prêt à défendre et à sauvegarder son indépendance.

Son dévouement pour les questions où il pouvait porter la lumière l'avait conduit à participer aux travaux de nombreuses commissions, et jamais il ne se refusait à de semblables appels. Le comité consultatif des chemins de fer, celui des arts et manufactures, la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, avaient trouvé en lui le plus utile concours.

Devenu inspecteur général des mines, membre de l'Institut, entouré d'une famille chérie, Combes pouvait se flatter d'achever en paix, au sein des plus douces affections, une carrière si bien remplie. La mort en a décidé autrement, et, encore plein de force et de vie, il nous a été subitement enlevé. Il laisse parmi tous ceux qui l'ont connu le souvenir d'un homme de bien, d'un fervent ami de son pays, de la science et de la vérité. Puisse-t-il, au sein de la source éternelle de toute vérité, trouver la récompense de l'amour qu'il lui portait !

DISCOURS DE M. DE BILLY,

Inspecteur général des mines.

Messieurs,

L'homme éminent que nous accompagnons à sa dernière demeure appartenait, depuis cinquante-deux ans, au corps des mines; la mort l'a surpris au moment où, atteignant l'âge de la retraite, il allait se séparer de nous après avoir occupé le premier rang, plus encore par son mérite que par son grade.

Charles-Pierre-Mathieu Combes, naquit à Cahors, le 26 décembre 1801 ; son père, Pierre Mathieu Combes, officier supérieur de gendarmerie, ne tarda pas à découvrir dans son jeune fils les aptitudes les plus variées et les plus précieuses.

Grâce à de très-fortes études, Ch. Combes entra à l'école polytechnique avant l'âge de dix-sept ans (1er novembre 1818) et, le 15 novembre 1820, il était admis à l'École des mines.

C'est ainsi qu'à l'âge de dix-huit ans, auquel beaucoup de jeunes gens sont encore incertains sur le choix de leur carrière, Combes avait assuré la sienne à la suite des plus brillants concours.

Autrefois, les cours de l'école des mines étaient répartis sur deux années, mais tous les élèves y restaient trois ans; Combes fit exception à la règle; en deux années il avait satisfait à toutes les conditions exigées, et il était déclaré hors de concours le 1er juillet 1822.

Aussitôt après sa dernière mission d'élève, il fut nommé (15 octobre 1823) professeur de mathématiques et de levée des plans à l'école des mineurs de Saint-Étienne.

Désireux d'appliquer sans délai ce qu'il avait appris si vite et si bien, Combes, peu après sa nomination au grade

d'ingénieur de seconde classe, alla prendre, en mai 1824, la direction des mines de La Croix et Sainte-Marie-aux-Mines qu'une compagnie cherchait à remettre en activité. Mais l'insuffisance des fonds dont elle disposait mit bientôt un terme à cette entreprise, et Combes rentrait (octobre 1826) à l'école des mineurs, où il professa les mathématiques, la mécanique et la levée des plans. En même temps, il fut chargé du service des mines dans une partie du douzième arrondissement minéralogique.

Tout en lui conservant le professorat, l'administration (août 1827) autorisa l'habile ingénieur à diriger provisoirement les mines de houille de Firminy et de Roche-la-Molière, situation dans laquelle il perfectionna les connaissances pratiques dont il sut, plus tard, tirer si bon parti dans les différentes positions qu'il a occupées.

En 1832, quand il venait de passer à la première classe de son grade, il fut chargé du cours d'exploitation à l'école des mines. Depuis cette époque, il n'a plus quitté Paris, et sa nomination au grade d'ingénieur en chef (décembre 1836) n'a eu d'influence ni sur sa résidence, ni sur ses fonctions de professeur dont il s'acquittait avec une incontestable supériorité; seulement l'administration y ajouta la direction du service des appareils à vapeur dans le département de la Seine et le secrétariat de la commission des appareils à vapeur.

L'avancement de Combes avait été aussi rapide que justifié par ses services dans le corps et par d'innombrables travaux techniques et scientifiques, qui lui attiraient des distinctions de l'ordre le plus élevé.

Décoré fort jeune, il recevait la croix d'officier en avril 1847.

L'Académie des sciences l'avait admis dans son sein la même année, et les missions les plus variées lui fournissaient à la fois de nombreux travaux et l'occasion de faire valoir ses rares capacités.

En 1851, la société belge de la Vieille-Montagne le nommait arbitre dans une contestation avec un concessionnaire.

En 1855, la compagnie des fonderies et forges d'Alais lui confiait l'expertise de ses constructions et de son matériel.

En 1856, c'était la société des mines de fer des environs d'Oran qui lui demandait l'évaluation de ses apports.

Pendant qu'il était inspecteur de seconde classe, il fut succesivement chargé des inspections du Nord-Est, du Sud-Est, du Nord-Ouest, et, lorsqu'en 1857 il devint inspecteur de première classe, il avait cessé de professer à cette école dont, peu de temps après (4 avril 1857), il devait être l'habile directeur.

En même temps, il participait aux travaux de la commission des chemins de fer; il était membre du comité d'hygiène du département de la Seine, de la société d'encouragement pour l'avancement des sciences et des arts, de la société d'agriculture; plus tard, il présida la commission des inventions, et, en 1861, il avait succédé à M. Cordier dans la présidence de la commission centrale des appareils à vapeur. A toutes ces associations et commissions il prêtait un concours actif, parfois même prépondérant.

Souvent l'industrie privée lui demandait des conseils.

En 1860 (1er décembre), il devenait commandeur de la légion d'honneur; en 1865, commandeur de l'ordre des Saints-Maurice et Lazare, et, plus tard, de l'ordre de Léopold de Belgique.

En 1869, il succédait à M. Élie de Beaumont dans la présidence du conseil général des mines.

Combes savait mener de front ses nombreux travaux techniques, administratifs, scientifiques qui donnaient lieu à d'importantes publications. Son *Traité d'exploitation des mines* fait autorité, et son ouvrage sur *la Théorie mécanique de la chaleur* est assurément une des meilleures publications sur cet important sujet.

De plus autorisés que moi vous parleront de ses travaux purement scientifiques, mais le simple énoncé de ceux qu'il a accomplis comme ingénieur des mines atteste la variété de ses connaissances et une puissance de travail qui n'avait presque pas de limites.

Pour bien diriger l'École des Mines, pour bien présider le Conseil général des Mines, comme à su le faire notre éminent collègue, il fallait être à la fois homme de science, ingénieur technique, être versé dans la pratique de l'administration : Combes était tout cela.

Au Conseil des Mines, nous admirions chez lui une force d'attention vraiment merveilleuse. Quelque longue que fût la lecture d'un rapport, notre président en saisissait les points faibles ou défectueux et il les mettait aussitôt en discussion, faisant valoir son opinion avec une facilité de parole et une puissance d'argumentation qui révélait la clarté de sa pensée, la netteté de ses conceptions.

L'âge n'avait affaibli, ni sa mémoire, ni la vigueur de son esprit; il a quitté la vie dans la pleine jouissance de ses rares qualités intellectuelles auxquelles il alliait une grande indépendance, une grande générosité, une non moins grande bienveillance de caractère.

Toujours il prenait les questions par leur côté élevé, et dans sa vie administrative, il soutenait volontiers le faible contre l'homme puissant, quelquefois même avec une vivacité que rien ne pouvait réprimer et qui témoignait à la fois de son sentiment de justice et de la sincérité de ses convictions.

Nous ne nous étendrons pas sur ses qualités du cœur; la plupart de ceux qui nous entourent ont pu les apprécier; les larmes de sa famille et de ses nombreux amis attestent la douleur de tous ceux qui ont approché notre illustre collègue.

Il laisse deux filles et un fils qui soutient dignement dans la magistrature l'honneur du nom paternel.

L'unes de ses filles, non mariée, consacrait toute son existence à son père chéri ; nous l'avons trouvée assise au chevet du lit de l'illustre défunt. Puisse le Dieu qui frappe, mais aussi qui console, la soutenir en ces heures d'accablement et de douloureuse émotion.

Combes a offert, pendant toute sa carrière, un modèle accompli de l'usage que doit faire un homme de ces dons inappréciables dont il plaît à Dieu de doter quelques-uns ; celui à qui nous disons un dernier adieu en a su faire le plus noble emploi.

Sa mémoire vivra toujours parmi nous, entourée d'affection et de respect.

Elle servira d'exemple à nos jeunes générations.

DISCOURS DE M. E. DUPONT,

Inspecteur de l'École des mines

Messieurs,

L'homme de bien que nous pleurons, a été et restera une des gloires du corps des mines.

Professeur pendant sept années à l'École des mineurs de Saint-Étienne, puis professeur d'exploitation pendant vingt-cinq années à l'École des mines, et enfin, pendant quinze ans, Directeur de cet établissement, M. Combes a été, durant un demi-siècle, en France, *le grand maître* de *l'art des mines.*

Et pendant cette longue période de travail, savant illustre, ingénieur émérite, conseiller éminent de l'administration supérieure, il fut toujours prêt à mettre au service du pays, sous les formes les plus diverses, sa merveilleuse intelligence, ses connaissances étendues et profondes, son

organisation d'élite pour le travail, et la droiture d'une belle âme.

Je n'ai le droit de parler, messieurs, que d'une de ses œuvres, de la part qu'il a prise à l'enseignement et à l'administration de nos écoles minérales.

Dès 1823, au début de sa carrière, M. Combes fut attaché comme professeur à l'École de Saint-Étienne, et il y remplit ces fonctions pendant deux ans.

Sa notoriété spéciale de *mineur* avait fait rechercher son concours par l'industrie active, et, pendant deux années, il dirigea les travaux de Sainte-Marie-aux-Mines.

Rappelé à l'École de Saint-Étienne en 1827, il reprit ses fonctions de professeur, qu'il garda jusqu'en 1831, tout en prêtant un concours éclairé à l'industrie houillère de la Loire, par la direction des mines de Roche-la-Molière et Firminy.

C'est donc pendant sept années que M. Combes a professé, à Saint-Étienne, des sciences se rapportant à l'art des mines ; les nombreux élèves qu'il y a formés ont démontré tout à la fois, en défrichant le sol minier de la France, et leur propre mérite et celui de leur illustre maître.

Appelé à l'École des Mines de Paris en 1832, M. Combes y a professé activement, pendant dix sept ans, l'exploitation des gîtes minéraux ; et, durant cette longue période, il cumulait, comme labeur, le service des appareils à vapeur de la Seine; il rédigeait, comme secrétaire de la Commission centrale des machines à vapeur, cette ordonnance réglementaire de 1845, qui rendit, avant de vieillir, des services réels à une industrie naissante et à la sécurité publique; il faisait, à la même époque, ses belles études sur l'aérage des mines, et divers travaux scientifiques justement rappelés par d'autres que moi.

En 1857, lorsque la mort prématurée de M. Dufrénoy ravit à l'École des Mines son organisateur, M. Combes fut appelé à lui succéder dans la direction de cet établissement.

Vous savez tous, Messieurs, s'il a dignement occupé ce poste.

M. Dufrénoy, dans le juste intérêt de l'industrie des mines et forges, avait ouvert à notre école un essor nouveau par l'institution féconde des *cours préparatoires*; il fallait soutenir cet essor, maintenir le niveau des études, créer des laboratoires, développer les collections, accroître les bâtiments, assurer l'instruction pratique des élèves; il fallait enfin administrer avec intelligence et droiture une école importante.

M. Combes a fait toutes ces choses, il les a faites avec modestie; mais nous, ses élèves ou ses subordonnés, nous ne saurions, sans ingratitude, être modestes pour lui : nous ne voulons pas être ingrats.

Messieurs,

Deux écoles minérales, établies sur des bases et dans des conditions différentes, avec cette variété qui sied bien à l'enseignement, celle de Saint-Étienne et celle de Paris, ont occupé pendant quarante sept années l'activité savante de M. Combes; les élèves qu'il a formés disent au pays ce que ces deux écoles ont fait pour l'art des mines.

Qu'il me soit permis de le revendiquer au nom de ces deux écoles, où l'enseignement de toutes les sciences qui se rapportent aux mines et aux forges est donné avec une si entière libéralité : la distribution généreuse de cet enseignement constitue certainement une des œuvres les plus méritantes du corps des mines; M. Combes aimait à le dire, et il en avait acquis le droit; j'ajoute que cette œuvre d'un enseignement minier, donné si largement par les ingénieurs de l'État, accomplit d'une manière réelle et féconde, quoique indirecte, une promesse formelle de la loi de 1810 à l'industrie minérale du pays.

Les années n'avaient pu dompter l'énergie de labeur de M. Combes : il a travaillé jusqu'à la dernière heure.

Mais la science et le travail ne sont pas tout l'homme : si nous étions fiers de votre science, ô mon maître, nous l'étions aussi de votre mâle vertu; nous tous, membres à divers degrés de cette famille laborieuse qui s'appelle l'École des Mines, et dont vous étiez l'illustre chef, nous aimions votre bienveillance inépuisable, votre justice si droite et si franche, à l'abri de laquelle chacun se sentait sûrement protégé.

Et maintenant, adieu, ô mon vénéré, mon illustre maître, nos regrets vous accompagnent, mais bien après vous, votre nom vivra dans les annales du pays. Dans les temps si durs du présent, que votre vie d'ingénieur nous soit à tous un exemple, pour l'amour de la science et de la justice, l'âpreté au travail utile, le dévouement au pays de toutes les heures, et cette fleur de vertu qui s'appelle l'honneur !

PAROLES PRONONCÉES SUR LA TOMBE DE M. COMBES

Par M. VOISIN, élève de l'École des mines.

Qu'il nous soit permis, à nous aussi, qui avions voué à notre vénérable maître un attachement respectueux et presque filial, de déposer sur sa tombe l'humble et pieux hommage de nos regrets.

M. Combes n'était pas seulement, pour nous, le directeur plein de bienveillance et de sollicitude; il était encore, par l'éclat de sa science et de ses vertus, par l'activité infatigable de ses travaux, le modèle qui s'imposait à nos modestes efforts.

Aussi votre souvenir vivra toujours dans nos cœurs, illustre maître; c'est en suivant vos leçons et vos exemples, que nous voulons honorer votre mémoire, et mériter d'avoir été un peu vos enfants.

PAROLES PRONONCÉES PAR M. BARRAL,

Secrétaire perpétuel de la Société centrale d'agriculture, membre du Conseil de la Société d'encouragement.

La Société centrale d'agriculture de France et la Société d'encouragement pour l'industrie nationale ont voulu que, sur le bord de cette tombe, un pieux hommage fût rendu à l'homme éminent qu'elles viennent de perdre. En leur nom, je dois remplir ce douloureux devoir.

M. Combes a appartenu, pendant vingt-deux ans, à la Société centrale d'agriculture. Il y représentait à la fois la science mécanique dont les arts agricoles ont, chaque jour, un plus grand besoin, et la culture méridionale, dont les riches produits deviennent d'autant plus abondants qu'elle s'éclaire davantage au flambeau de toutes les sciences. Il avait acquis dans nos délibérations cette légitime influence que donnent la bienveillance alliée à un grand savoir, un rare bon sens, un caractère indépendant et libéral, enfin une modération entraînante et pleine de force, parce qu'en M. Combes cette modération était le signe d'un noble caractère.

Ainsi, lorsque de longues et délicates discussions furent ouvertes à l'occasion du choix du régime commercial le plus favorable au développement de l'agriculture nationale, il a exercé une action décisive pour qu'un vote en faveur d'une sage liberté commerciale et industrielle finît par l'emporter, pour que l'intérêt public triomphât sur les intérêts particuliers s'abusant à chercher une vaine protection dans des doctrines restrictives. D'ailleurs son avis était toujours pris, lorsqu'il s'agissait d'une question difficile, et le plus souvent la majorité se conformait à l'opinion qu'il avait émise.

M. Combes appartenait à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale depuis 1839, au titre de membre du comité des arts mécaniques. Durant sa laborieuse carrière, il n'a pas cessé d'encourager les inventeurs; il les soutenait dans leurs épreuves, il les aidait à suivre la voie qui devait plus tôt les conduire à un résultat fécond. Devenu l'un des secrétaires des séances, il y donna l'exemple de l'assiduité la plus scrupuleuse et du zèle infatigable dans l'accomplissement de tous les devoirs. Il prêtait une plus grande valeur aux travaux qu'il analysait, par la clarté avec laquelle il en mettait en évidence les parties nouvelles ou ingénieuses. Un inventeur n'est jamais sorti des séances que réconforté, en quelque sorte, par les paroles du maître qui avait su dire tout ce qu'il fallait pour bien faire comprendre la découverte nouvelle ou le progrès proposé, en redressant parfois les erreurs et les exagérations, mais sans jamais blesser.

Ainsi, M. Combes a rendu des services incomparables, non-seulement par ses beaux travaux, mais encore par les nobles exemples qu'il a donnés. L'agriculture et l'industrie s'unissent dans une commune affliction pour pleurer sa mort inattendue. Dans des temps où la France a si grand besoin, pour triompher de ses terribles épreuves, d'être soutenue par des chefs alliant le savoir au bon conseil, par des caractères fermes et animés d'un patriotisme libéral, on se sent saisi des plus poignantes angoisses alors que des hommes ayant l'expérience et la sagesse, comme M. Combes, lui sont enlevés au milieu de la lutte et du danger. Le souvenir de notre confrère demeurera du moins pour rappeler, dans les assemblées où il ne sera plus, qu'il faut toujours et exclusivement chercher le triomphe de la vérité. L'image d'un vrai savant, bon citoyen et fidèle aux idées de liberté, restera gravé dans nos cœurs.

DISCOURS DE M. ÉLIE DE BEAUMONT.

Messieurs,

Après les paroles éloquentes et si bien senties que vous venez d'entendre, qu'il soit permis à un ancien condisciple d'ajouter encore quelques mots. Peu de personnes peuvent aujourd'hui se rappeler les premiers débuts d'une si belle carrière. En 1817, M. Combes était l'un des élèves les plus distingués du collége Henri IV, dans les classes de mathématiques. Il y était remarqué et même cité plus souvent qu'il n'arrive ordinairement à un élève. En 1818, après de brillants examens, âgé de moins de dix-sept ans, il entra à l'École polytechnique le premier de sa promotion, dans laquelle il ne quitta jamais les premiers rangs. On admirait sa promptitude de conception; sa lucidité d'élocution et de rédaction, sa facilité de travail; car il n'était pas de ceux qui doivent leur supériorité à une application exceptionnelle et, même aux époques des examens, il ne perdait rien de sa gaieté expansive et quelquefois presque bruyante. Une si heureuse organisation lui faisait des amis de tous ceux qui l'entouraient et dont les loisirs que lui ménageait sa facilité lui permettaient d'être souvent et sans appareil le répétiteur officieux.

A la sortie de l'École polytechnique, en 1820, son rang lui permettant de choisir librement sa carrière, il opta pour celle des mines. La variété des études auxquelles l'École des mines est consacrée ouvrit à son étonnante facilité un nouveau et vaste champ, où il moissonna avec tant de rapidité qu'il fut déclaré hors de concours après deux années d'études seulement, distinction que les règlements permettaient alors, mais qui était rarement obtenue.

Il avait suivi toutes les branches de l'enseignement avec une aptitude également surprenante, et il n'était pas moins apprécié par M. Berthier, professeur de chimie, et par M. Brochant, professeur de minéralogie et de géologie, que par M. Baillet, professeur d'exploitation des mines et de mécanique appliquée. C'était cependant dans le domaine de celui-ci qu'il devait se fixer définitivement pour y porter l'enseignement de la mécanique à ce degré d'élévation qui est un des titres les plus incontestés de notre École.

Il a couronné cet enseignement par la publication de son excellent *Traité d'exploitation des mines* et par celle de l'*Exposé des principes de la théorie mécanique de la chaleur et de ses applications principales*, ouvrage qui n'a paru qu'en 1867, et où cette théorie nouvelle et difficile est présentée avec la simplicité lucide qui était un des caractères du talent de M. Combes.

Je n'essayerai pas de rien ajouter à ce qui vient d'être si bien dit de la brillante carrière que M. Combes a parcourue d'un pas aussi calme qu'assuré. Je rappellerai seulement, en terminant, quelques souvenirs au sujet desquels on ne peut qu'aimer à se répéter.

A l'Académie des sciences, où il fut élu en 1847, dans la section de mécanique, M. Combes se fit remarquer, comme partout ailleurs, par l'aménité de ses manières, la sûreté de son commerce, la profondeur et la variété de ses connaissances, la finesse et la solidité de son jugement. Ne se pressant jamais d'arrêter son opinion, il l'établissait sur des bases certaines, et, après l'avoir exprimée, il était rarement conduit à la modifier.

Nommé, en 1857, directeur de l'École des mines, il continua sans effort les développements que son regretté prédécesseur, M. Dufrénoy, avait commencé à lui donner. L'honorabilité et la bonté de son caractère faisaient qu'on aimait à lui obéir. Sa fermeté continue le dispensait d'être sévère. Partout on trouvait en lui sous des formes simples et bien-

veillantes le ***justum ac tenacem propositi virum*** qu'Horace a caractérisé comme un des types les plus dignes d'estime.

Adieu, Combes! adieu, cher condisciple! adieu, ou plutôt au revoir!!!

MÉMOIRE

SUR

L'APPLICATION FAITE A LA VIEILLE-MONTAGNE DES PERFORATEURS MÉCANIQUES A AIR COMPRIMÉ AU CREUSEMENT DES GALERIES A TRAVERS BANCS,

Par M. A. PERNOLET, ingénieur aux mines d'Anzin, ancien élève de l'École des mines de Paris.

En 1862, la société de la Vieille-Montagne, qui avait à faire à Moresnet, près d'Aix-la-Chapelle, des travaux au rocher fort importants, décida d'y appliquer les moyens mécaniques.

A l'époque où elle prit ce parti, les perforateurs mécaniques, sur lesquels le percement du Mont-Cenis attirait déjà l'attention depuis quelques années, n'avaient encore été appliqués que très-irrégulièrement dans les mines. Déjà néanmoins il existait de nombreux appareils parmi lesquels je me bornerai à citer :

Le perforateur Schumann, qui fut employé quelque temps dans les mines de Freiberg, et le perforateur de Schwartzkopf, qui fut appliqué dans une carrière des bords du Rhin, à Binger-Loch, où il marchait à la vapeur.

Après avoir étudié dans tous leurs détails les différents appareils alors existants, M. Carl Sachs, inspecteur des machines de la Vieille-Montagne, construisit un perforateur dans lequel il s'était attaché à éviter les inconvénients que présentaient les autres au point de vue de leur emploi à l'intérieur des mines.

C'est ce perforateur, que je désignerai sous le nom de perforateur Sachs, qui fut employé à la Vieille-Montagne,

où il donna d'excellents résultats. C'est lui qui, en ce moment encore, avec quelques légères modifications de détails, fonctionne dans les mines de Saarbruck, où, bien qu'employé dans de mauvaises conditions, il a déjà donné des résultats dignes d'intérêt, résultats consignés dans un mémoire remarquable publié par le bergassessor Hasslacher, et dont j'ai donné la traduction dans la 3e livraison du tome XVII des *Annales*.

Comme complément à ce mémoire, je donne aujourd'hui la description complète du perforateur Sachs et de tout l'installation faite à Moresnet. Cette installation mérite intérêt, même en face de la magnifique installation de Sulzbach-Altenwald, près Saarbruck, à cause de la simplicité avec laquelle elle a été faite ; puis parce qu'elle fait connaître un type de compresseur beaucoup moins coûteux et qui me semble à recommander pour les petites installations, malgré quelques inconvénients.

Tous les renseignements formant la matière de ce mémoire, m'ont été exclusivement fournis par la brochure (*) que M. Carl Sachs a publiée en 1865 à Aix-la-Chapelle, sur les perforateurs mécaniques en général, et leur application au creusement des galeries. Mon travail n'est donc, à bien dire, qu'une traduction libre de la seconde partie de cette brochure, dont une visite à Moresnet m'a permis de parfaitement comprendre tous les détails.

TRAVAIL A FAIRE.

Le travail à faire consistait dans une galerie à travers bancs de 5 mètres carrés de section — $2^m,25 \times 2^m,25$ — à creuser sur une longueur de 127 mètres, à la profondeur de

(*) Le titre exact de la brochure de M. Sachs, est le suivant : *Ueber Gesteinsbohrmaschinen im Allgemeinen : und speciell über deren Anwendung beim Streckenbetrieb auf der Galmey-Grube Altenberg bei Aachen.*

90 mètres. Cette galerie, qui devait relier le puits principal (puits Le Hon) au gîte à exploiter, avait à traverser des grauwackes schisteuses très-quatrifères, et un banc de dolomie quartzeuse, roches toutes deux très-dures.

L'installation de tous les appareils commença dans le courant de 1862, mais, pour différentes causes, on ne fut prêt à marcher qu'en mars 1864, alors qu'on avait déjà creusé à la main $58^m,50$ de galerie ; les perforateurs mécaniques n'eurent donc à creuser que 68 mètres, ce qu'ils firent en six mois. Le creusement fut achevé au mois d'août 1864.

PRODUCTION DE L'AIR COMPRIMÉ.

La machine à comprimer l'air était installée dans un atelier dont les diverses machines étaient commandées par une roue hydraulique qui représentait une force de 8 à 9 chevaux utiles, la hauteur de la chute était de $8^m,57$ et son débit de $0^{mc},110$.

De ces 8 à 9 chevaux, 2 à 3 seulement étaient employés, restaient donc 6 chevaux disponibles qui correspondaient précisément à la force jugée utile pour produire l'air comprimé nécessaire à la marche simultanée de deux perforateurs. On installa donc sur l'axe de la roue un engrenage qui menait, par l'intermédiaire d'un pignon, d'une manivelle et d'une bielle, un compresseur à double effet de $0^m,26$ de diamètre et $0^m,92$ de course. Ce compresseur fort simple, dont la disposition est représentée en plan et en coupe *fig.* 1, 2, 3 et 4, Pl. I, faisait de quarante à quarante-cinq tours par minute, ce qui donnait un volume théorique engendré par le piston, de 4 mètres cubes par minute. Le piston du compresseur, qui est représenté *fig.* 5, Pl. I, était un simple piston suédois, de $0^m,10$ de hauteur, avec 5 ressorts de 8 millimètres d'épaisseur, agissant directement sur l'air.

Les soupapes, qui étaient au nombre de 6 sur chacun des

fonds du cylindre, trois d'aspiration et trois de refoulement, étaient en cuir et fixées par leur milieu sur un siége en laiton. Leur disposition est donnée par les *fig.* 6 et 7 de la Pl. I, la *fig.* 4 de la même planche, montrant leur position sur les fonds du cylindre.

RÉSERVOIR ET CONDUITE D'AIR.

L'air, comprimé dans le cylindre, était conduit dans un réservoir formé d'une vieille chaudière dont la capacité était de 5 mètres cubes, par le tuyau R, réunissant les boîtes des soupapes de refoulement des deux fonds du cylindre compresseur, tuyau sur lequel était établi une soupape de sûreté.

La conduite d'air, reliant le réservoir aux perforateurs, avait une longueur totale de 266 mètres, dont voici le détail :

54^{m},30 de tuyaux en fonte de 0^{m},380 de diamètre intérieur, allant, au jour, du compresseur au puits.

90 mètres de tuyau en fonte de 0^{m},120 de diamètre descendant dans le puits.

121^{m},70 de tuyaux en fer étiré de 75 millimètres de diamètre intérieur, allant de la base du puits aux perforateurs.

La transition entre les tuyaux de diamètres différents se faisait au moyen de raccords coniques en fonte.

En avant du réservoir et, à la tête du puits, étaient établies des soupapes de retraite permettant d'isoler les différentes parties de la conduite.

Les tuyaux en caoutchouc qui reliaient la conduite aux perforateurs, avaient 50 millimètres de diamètre intérieur, et 7 millimètres d'épaisseur.

Tous ces tuyaux étaient assemblés à collets plats tournés avec rondelle de caoutchouc interposée et serrée à force par des boulons en nombre variant avec le diamètre des uyaux.

Ce joint tenait parfaitement, et le manomètre n'accusait qu'une différence de pression inappréciable entre les deux extrémités de la conduite.

L'ensemble de cette conduite représentait un volume de 7 mètres cubes qui, joint à celui du réservoir proprement dit, formait un volume total de 12 mètres cubes. Ce volume n'était qu'à peine suffisant pour assurer la marche régulière des perforateurs.

AFFUT.

L'affût portant les perforateurs, se composait d'une cage parallélipipédique en fer et fonte, établie sur deux longrines en bois formant châssis et roulant sur quatre roues. Cette cage présentait, à l'avant et en porte-à-faux, deux cadres en fonte dont les montants, dentelés à la manière d'une crémaillère, recevaient les barres transversales sur lesquelles on fixait les perforateurs. La Pl. I, *fig.* 8, 9 et 10, faisant connaître toute la construction de ce support, je ne m'y arrêterai pas davantage.

Au moment du travail, l'affût roulé jusqu'au front d'attaque, de manière à ne laisser entre lui et la roche qu'un intervalle de quelques centimètres, nécessaire pour la manœuvre du perforateur, était coincé contre le terrain, à l'avant et à l'arrière, au moyen de pièces de bois établies au-dessous et au-dessus, comme on peut le voir sur le dessin.

CURAGE DES TROUS.

L'eau qu'on injectait dans les trous pour les curer au fur et à mesure de leur forage, était fournie par un réservoir en tôle, entièrement fermé, établi à l'arrière de l'affût ; dans ce réservoir on faisait arriver de l'air comprimé qui, agissant par pression, chassait l'eau toutes les fois qu'on ouvrait les robinets des tuyaux d'injection.

PERFORATEURS.

Le perforateur Sachs, dont la Pl. II donne le dessin complet, est un perforateur à percussion. Il se compose essentiellement d'un cylindre en laiton, dans lequel voyage un piston en fer forgé, portant, venues de forge avec lui : à l'avant, une tige de gros diamètre ne laissant entre elle et le cylindre qu'un vide annulaire de 9 à 10 millimètres; à l'arrière, une tige de très-faible diamètre.

La tige d'avant reçoit, enmanché dans un logement foré à son extrémité, suivant son axe, un fleuret de mine claveté sur elle.

La tige d'arrière est boulonnée, à son extrémité, sur une traverse horizontale qui donne le mouvement à un système de leviers établis à l'arrière de l'appareil et commandant :

La distribution de l'air produisant le va-et-vient du fleuret ;

La rotation du fleuret ;

L'avancement en masse de l'appareil au fur et à mesure de l'approfondissement du trou.

Le cylindre porte, à chacune de ses extrémités, venues de fonte avec lui : deux oreilles dans lesquelles passent deux barres en fer rond, qui, reliées vers leurs bouts par des traverses en fer, constituent à l'appareil un châssis à l'intérieur duquel il se meut pendant le battage.

L'air est amené par un tuyau avec robinet fixé, latéralement au cylindre, sur une saillie présentant extérieurement la glace du tiroir, et dans l'axe de laquelle est la lumière d'arrivée d'air. Cette lumière s'ouvre, sous la coquille du tiroir, entre les lumières d'admission et d'échappement, formant l'orifice des conduits qui mettent en communication la boîte du tiroir et les extrémités du cylindre.

L'ensemble de l'appareil ainsi constitué est représenté

en élévation, plan et coupe, par les *fig.* 1, 2, 3, 4, 5 et 6 de la Pl. II.

Les *fig.* 1 et 4 montrent l'agencement des divers organes qui, commandés par la traverse attelée sur la tige d'arrière du piston, rendent automatiques tous les mouvements de l'appareil.

Ces organes sont :

Deux grands leviers en acier *p p* qui, calés sur un axe *q* établi à l'arrière du cylindre et au-dessous de lui, ont leurs extrémités supérieures engagées dans des œillets percés sur a traverse, à droite et à gauche de là tige du piston.

Trois petits leviers *r*, *s*, *t*, qui, calés sur le même axe, commandent :

t, la tige du tiroir;

r, le guide vertical portant le doigt qui détermine la rotation de la roue à rochet, entraînant dans son mouvement la tige du piston;

s, le guide vertical *o o*, portant le doigt qui détermine la rotation de la roue à rochet commandant, par engrenage, la translation de tout l'appareil.

Revenons sur chacun de ces mouvements.

Distribution. — Le tiroir est un tiroir normal ordinaire, dont la coquille, au lieu de mettre en communication, comme les tiroirs de machines à vapeur, l'une des lumières du cylindre avec la lumière d'échappement, met l'une ou l'autre de ces lumières en communication avec la lumière d'admission, la boîte du tiroir n'étant pas fermée et l'échappement se faisant à l'air libre.

Ce tiroir est maintenu par un couvercle en bronze, laissant assez de jeu pour l'entière liberté de son mouvement.

Pour appliquer le tiroir sur sa glace sans serrage, on a imaginé de percer en son milieu un trou qui amène entre le couvercle et lui, dans l'évidement qu'il présente à sa partie supérieure, une couche d'air comprimé formant ressort.

Le mouvement de va-et-vient que le petit levier emprunte à la tige d'arrière du piston par l'axe *q* et le grand levier *p*, est transmis au tiroir par une tige en acier vissée sur lui, guidée en son milieu par un guide venu de fonte avec le couvercle du tiroir, et portant à l'arrière, sur une partie filetée, deux écrous qui, comprenant entre eux la tête du petit levier moteur, permettent de régler la distribution.

Par la grande inégalité de diamètre des tiges du piston, on a donné à sa face postérieure une surface presque double de celle d'avant, de manière à avoir une grande force dans la course en avant pendant laquelle agit le fleuret, tandis que, dans la course en arrière, on n'a que la force rigoureusement nécessaire pour ramener à fond de course le piston et le fleuret, et mouvoir les leviers qui assurent le mouvement automatique de tout l'appareil.

Rotation du fleuret.—La roue à rochet *x* que commande le doigt *v* auquel le levier *r* donne par l'intermédiaire des guides *u*, *u*, un mouvement continu de va et vient est calée sur l'extrémité d'une boîte en bronze *b*, dans laquelle passe la tige d'arrière du piston. Cette boîte qui peut tourner librement dans le fond du cylindre qu'elle traverse, porte intérieurement une rainure longitudinale, dans laquelle glisse la cale rectangulaire, fixée sur toute la longueur de la tige postérieure du piston, cale qui rend le piston solidaire de tout mouvement de rotation de la boîte, sans empêcher en rien son mouvement longitudinal.

De cette manière, chaque fois que le piston, et avec lui le fleuret reviennent en arrière, la roue à rochet tourne d'une dent, c'est-à-dire d'un trentième de tour, puisqu'elle porte trente dents. Le fleuret tourne sur lui-même de la même quantité.

Translation de l'appareil sur son châssis. —La roue à rochet *y* que commande le doigt *v*, auquel le levier *s* donne par l'intermédiaire du guide *o*, *o*, un mouvement

continu de va et vient, est mobile sur une saillie cylindrique que présente extérieurement le fond du cylindre : elle porte venue de fonte avec elle, une roue dentée *z* qui commande la roue *z'*. Ces deux roues ont le même diamètre et portent chacune vingt-et-une dents. La roue dont le moyeu saillant, tourne librement dans un manchon venu de fonte avec l'oreille droite du cylindre, est taraudée à l'intérieur de façon à jouer le rôle d'écrou par rapport à la barre du châssis, sur laquelle elle est enfilée, et qui est filetée sur toute sa longueur. Dans ces conditions, on voit qu'à chaque course en arrière du piston, la roue à rochet *y* tournant d'une dent, fait tourner d'autant l'engrenage *zz'*, et avancer par conséquent tout l'appareil sur son châssis d'un vingt-et-unième du pas de vis porté par la barre longitudinale.

Ce pas est de 6^{mm},5. En marche normale l'avancement du cylindre, et par suite l'approfondissement du trou, est de 60 millimètres par minute.

Détails de construction. — Ces appareils fort compliqués et par suite très-délicats, étaient construits avec le plus grand soin.

Le cylindre, le tiroir, les boîtes formant l'avant et l'arrière du cylindre, les roues à rochet, et les roues dentées, étaient en laiton ; tout le reste sauf le châssis, était en acier nerveux : des goupilles fendues maintenaient les écrous et les clavettes. Comme garniture, on avait tourné sur le piston et dans les boîtes traversées par ses tiges, des rainures rectangulaires assez profondes, dans lesquelles se logeait un bourrelet d'air comprimé qui formait un joint très-suffisant, tout en laissant au piston la plus grande mobilité.

Enfin on remarquera sur la *fig.* 4 (Pl. II), que les conduits qui amenaient l'air de la boîte du tiroir au cylindre n'aboutissaient pas tout à fait au fond de ce dernier : l'espace nuisible ainsi accru constituait, entre le piston et les fonds du cylindre, un matelas d'air qui empêchait les chocs.

Les perforateurs dont on s'est servi à Moresnet, avaient les dimensions suivantes :

	millim.
Diamètre du piston.	100
Course maximum.	140

Ils pouvaient battre de 300 à 400 coups par minute.

Leur poids était de 84 kilogrammes, et de 102 kilogrammes avec le fleuret et la pièce qui servait à les assujettir sur les barres de l'affût.

A la vitesse de 360 coups, le volume d'air consommé par minute était de 0^{mc},525 dont :

	mètres cubes.
Pour la course en avant.	0,280
Pour la course en arrière.	0,140
Pour les pertes (un quart du total).	0,105
Total.	0,525

Comme on marchait à 2 atmosphères ou 1 atmosphère effective, le volume consommé par minute et par appareil, était de 1^{mc},050 d'air à la pression ordinaire.

La force développée par le perforateur était de 1 cheval $\frac{1}{4}$ environ, dont :

Pour la course en avant.	0,77
Pour la course en arrière.	0,39

FLEURETS.

Les fleurets étaient en fer avec bout en acier ; le diamant affectait la forme d'un Z. Leurs dimensions étaient les suivantes :

DÉSIGNATION des séries.		LONGUEUR totale.	DIAMÈTRE au diamant.
		millim.	millim.
N° 1	1	470	41
	2	500	40
N° 2	1	550	39
	2	550	38
	3	650	37
	4	650	36
N° 3	1	700	35
	2	700	34
	3	800	33
	4	800	32
N° 4	1	900	31
	2	900	30
	3	1.000	29
	4	1.000	28
N° 5	1	1.100	27
	2	1.200	25

Un jeu complet composé des cinq séries précédentes, pesait $48^k,25$ dont 40 kilogrammes de fer et $8^k,25$ d'acier.

CONDUITE DU TRAVAIL.

Pour travailler au fond avec ces perforateurs, l'affût étant roulé jusqu'au front d'attaque, et calé solidement comme je l'ai dit précédemment. Un maître mineur marquait sur le front d'attaque, les points où devaient être forés les trous de mine. Puis les quatre ouvriers (deux par perforateurs), qui étaient chargés de la conduite des appareils, les installaient de manière à ce que le fleuret pût agir sur les points désignés.

Pour cela ils commençaient par fixer dans les crans des montants à crémaillère, établis à l'avant de l'affût, les quatre barres de fer qui, prises deux à deux déterminaient un plan parallèle à celui dans lequel devait travailler le perforateur. Sur les barres ainsi disposées, ils établissaient les perforateurs qu'ils fixaient à l'arrière au moyen d'une pince à vis construite comme l'indiquent les *fig.* 2, 4, 5 et 6 de la Pl. II.

A l'avant, le perforateur était simplement appuyé sur

la barre antérieure, dans la direction voulue par le trou qu'on se proposait de forer.

Les appareils étant ainsi installés, l'ouvrier chargé de la perforation, après avoir tiré à la main la tige du piston jusqu'à fond de course en avant, clavetait sur elle le fleuret le plus court, faisait avancer le perforateur sur son châssis en tournant à la main l'écrou moteur du mouvement de translation jusqu'à ce que le diamant du fleuret vînt toucher le front d'attaque.

Au point de contact il entaillait légèrement à la main la roche de manière à préparer une place de battage sur laquelle le fleuret ne pût glisser en battant. Pendant ce temps le second ouvrier reliait avec l'ajutage en cuivre porté par les perforateurs, le tuyau en caoutchouc qui réunissait la conduite d'air principale aux appareils, et disposait pour le travail toute la tuyauterie du réservoir d'eau et les deux lances métalliques qui servaient à l'injection de l'eau dans les trous.

Toutes ces dispositions étant prises, le premier ouvrier, ouvrant peu à peu et avec précaution, le robinet d'admission d'air, commençait le battage. Jusqu'à ce que le trou ait atteint une profondeur de 12 à 15 millimètres, on ne battait que lentement, en veillant avec soin sur la direction du fleuret.

Le trou une fois ainsi amorcé, et sa direction assurée, le premier ouvrier qui se tenait pendant tout le travail sur le côté du perforateur, s'assurait que tout était en ordre, et ouvrait complétement le robinet d'air de manière à faire donner de 200 à 300 coups par minute. Le second ouvrier, placé de l'autre côté, veillait à ce que l'injection d'eau fût bien dirigée pour le curage des trous. Lorsque le fleuret ayant creusé un trou de profondeur égale à sa longueur, le perforateur se trouvait à l'extrémité du châssis, le premier ouvrier faisait reculer l'appareil jusqu'à l'arrière du châssis en tournant à la main l'écrou de translation, déclavetait le

fleuret qui venait de servir, pour le remplacer par un fleuret plus long et de plus faible diamètre, puis recommençait le travail comme précédemment.

On changeait ainsi les fleurets de deux à trois fois par trou, suivant la profondeur qu'on voulait lui donner.

Puis un trou foré, on disposait l'appareil pour en faire un autre, de manière à profiter de l'installation de l'affût, pour faire en un seul poste tous les trous à forer sur un front d'attaque.

Le travail de perforation achevé, les quatre ouvriers chargés de le conduire, démontaient les tuyaux de caoutchouc amenant l'air aux appareils, et au réservoir, réunissaient tous leurs outils sur la plate-forme de l'affût, décalaient l'affût et reculaient le tout en roulant l'affût sur la voie qui le portait, à une distance suffisante pour être à l'abri des effets de l'explosion.

Un poste de mineurs venait bourrer les mines dont les trous avaient été forés à la machine, les faisait sauter, et enlevait les déblais produits par l'explosion.

Pour cela, entre les deux rails de la voie portant l'affût, et écartés de $1^m,20$, était établie une seconde voie de 0,60 de largeur, sur laquelle circulaient les wagonnets de mine qui servaient au transport des roches abattues.

RÉSULTATS OBTENUS.

Pour faire les $58^m,50$ premiers mètres qui furent creusés à la main, on mit treize mois et demi, ce qui donne un avancement moyen de $4^m,25$ par mois.

Le travail à la machine commença le 4 mars et se continua sans interruption (pendant six mois). L'avancement moyen fut de $11^m,40$, c'est-à-dire plus de deux fois $\frac{1}{2}$ l'avancement obtenu à la main.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant qui donne le détail des avancements mensuels faits

dans les deux cas, ainsi que les dépenses de main-d'œuvre correspondantes.

TERRAINS à traverser.		MOIS.	LONGUEUR CREUSÉE à la main.	LONGUEUR CREUSÉE au perforateur.	SALAIRES payés aux mineurs par mètre courant à la main.	SALAIRES payés aux mineurs par mètre courant au perforateur.
			mètres.	mètres.	francs.	francs.
Schistes dévoniens. Grauwackes schisteuses très-quartzifères, très-dures et compactes, avec quelques lits plus tendres intercalés.	Peu d'eau.	1863. Janvier. . .	7,00	»	143,00	»
		— Février. . .	3,50	»	236,00	»
		— Mars. . . .	4,00	»	194,00	»
		— Avril. . . .	3,25	»	200,00	»
		— Mai.	1,25	»	200,00	»
		— Juin.	4,50	»	200,00	»
		— Juillet. . . .	4,50	»	200,00	»
		— Août. . . .	3,25	»	200,00	»
		— Septembre.	5,00	»	200,00	»
		— Octobre . .	5,50	»	200,00	»
		— Novembre.	5,50	»	200,00	»
		— Décembre .	5,25	»	226,00	»
		1864. Janvier. . .	3,25	»	250,00	»
		— Février. . .	2,75	»	345,00	»
		— Mars. . . .	»	4,25	»	250,00
		— Avril. . . .	»	9,00	»	160,00
	Beaucoup d'eau.	— Mai	»	9,00	»	150,00
		— Juin.	»	12,50	»	150,00
		— Juillet. . . .	»	15,00	»	143,00
Roches plus tendres, dolomie quartzeuse.		— Août . . .	»	18,75	»	95,00
		Total.	58,50	68,50	206,00	141,00

En juillet 1864, au moment où le travail était bien en train et les ouvriers parfaitement au courant, on n'avança que de 6 mètres la première quinzaine, parce que les ouvriers furent très-gênés par les eaux.

En août, on approchait du gîte de calamine, et la roche devint tendre. Bien qu'on dût avancer avec précaution, on fit encore plus du double de l'avancement à la main.

Ces résultats sont très-satisfaisants, surtout si l'on pense que le travail n'a duré que six mois, et qu'on s'est arrêté précisément au moment où les ouvriers étaient formés.

De plus, par suite de la mauvaise construction de l'affût, on ne pouvait forer aux perforateurs les trous du pied de la galerie, et les ouvriers devaient les faire à la main.

Enfin, on ne travaillait qu'avec deux perforateurs ; or, si l'affût avait été mieux combiné, il y aurait eu avantage à en employer simultanément trois.

ORGANISATION DU TRAVAIL. — PERSONNEL NÉCESSAIRE.

Le service de chaque perforateur était fait par deux ouvriers, un mécanicien surveillait la marche des machines et réparait les petits désordres qui survenaient.

Il y avait donc en tout cinq hommes pour une attaque et deux machines en travail.

Les postes étaient au commencement de huit heures, mais très-peu de temps après, on dut les réduire à six heures, parce qu'il pleuvait beaucoup dans la galerie.

L'organisation des postes était la suivante :

Pendant la nuit, on avait deux postes de quatre mineurs chaque, qui foraient les trous à la main.

Le jour, le poste du matin qui se composait de cinq hommes (quatre ouvriers et un mécanicien) faisait le forage des trous aux perforateurs.

Le poste de l'après-midi était consacré à décaler l'affût, à le reculer, à bourrer les trous de mines, à les faire sauter, à enlever les déblais et enfin à remettre l'affût en place. Ce service était fait par deux hommes.

Habituellement on ne forait la nuit, en douze heures et à huit hommes, que quatre trous de $0^m,40$ de profondeur, tandis qu'avec les perforateurs, on forait six à huit trous de $0^m,50$ à $0^m,90$ en six heures et avec cinq hommes.

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES.

Pour comparer, au point de vue des dépenses, les résultats obtenus avec les perforateurs et les résultats donnés par le travail à la main, je rapporterai les dépenses faites dans les deux cas au mètre cube de roche excavée. Dans

les cinq premiers mois du travail à la machine, mois pendant lesquels on a traversé les roches les plus dures, on a dépensé pour avancer de 50 mètres ou excaver 253 mètres cubes de roche, 10.036f,88, dont :

francs.	
8.287,00	pour salaires d'ouvriers mineurs.
900,00	pour l'ajusteur.
250,00	pour le machiniste.
494,88	pour poudre et fusées.
105,00	pour l'entretien du compresseur.
10.036,88	

C'est par mètre cube 38f,65 ainsi répartis :

	francs.
Salaires des mineurs	32,75
Machinistes et ajusteurs	3,55
Poudre et fusée	1,95
Entretien du compresseur	0,40
Total	38,65

Dans le même temps on n'aurait creusé à la main que 26m,25, c'est-à-dire un peu plus de la moitié de ce qu'on a fait à la machine et la dépense aurait été de 7.491f,67, ainsi répartis :

	francs.
16 mineurs à 3 francs par jour pendant 5 mois	7.200,00
Poudre et fusée (1f,25 par mètre cube)	291,67
Total	7.491,67

Ce qui fait 71f,35 par mètre cube, dont 68f,57 en salaires.

C'est, comme l'on voit, abstraction faite du capital de premier établissement, un bénéfice de 32f,70 à l'avantage des perforateurs. Si le travail avait duré un an on aurait donc économisé 7.451f,60 qui aurait couvert et au delà l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement; puis l'économie aurait été plus forte.

Dans cette comparaison, nous avons laissé de côté le mois d'août pendant lequel la roche était déjà devenue tendre, tandis que pendant tous les mois précédents les terrains traversés avaient été d'une dureté exceptionnelle : comme indice de la dureté de la roche à ce niveau, on peut noter que, tandis qu'aux niveaux supérieurs on ne consommait par mètre cube de roche abattue que $0^k,800$ de poudre, on consommait à ce niveau $1^k,080$.

Et il convient de remarquer que cette consommation a très-notablement diminué avec les perforateurs; cela vient probablement de ce que les trous faits aux perforateurs étant plus profonds, la poudre avait plus d'action.

Enfin, on doit noter aussi à l'avantage des perforateurs à air, l'excellente ventilation qu'ils assuraient; c'est une économie indirecte, puisque cela dispense de canards ou de tout autre artifice.

DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT.

Pour compléter ces renseignements sur les perforateurs de la Vieille-Montagne, je donnerai ici le résumé des dépenses de premier établissement.

Ces dépenses se sont élevées à $45.399^f,69$, ainsi répartis :

	francs.
Roue hydraulique en bois avec augets en tôle, axe et couronnes en fer, conduite d'eau de 68 mètres, etc.	18.494,51
Compresseur, montage compris	4.650,00
Manomètres	181,86
Conduite d'air, pose comprise (280 mètres de tuyaux de toutes natures, tuyaux de fonte, de fer et de caoutchouc.)	9.578,44
12 perforateurs, y compris les dépenses faites pour les modifier et les perfectionner	6.509,75
Affût	2.461,63
Fleurets (100 pièces)	1.447,50

	francs.
Voie pour l'affût, 200 mètres courants à 25 kilogrammes par mètre, y compris les traverses et la pose.	2.076,00
Total.	45.399,69

Pour le travail on avait douze perforateurs dont neuf seulement servaient couramment, les trois autres étant de construction défectueuse.

De ces neuf perforateurs :

Quatre étaient toujours au fond, deux en service et deux en réserve.

Cinq étaient en réparation ou en nettoyage à l'atelier.

Très-souvent il est arrivé que les mêmes perforateurs ont travaillé quatorze jours de suite sans autre réparation que celles faites immédiatement par le machiniste du fond.

CONCLUSION.

Ainsi donc ces perforateurs ont permis d'obtenir un avancement deux fois et demi plus grand qu'à la main, avec une dépense qui, par mètre cube excavé, n'atteignait pas les deux tiers de ce que coûtait le travail à la main.

Voici, du reste, les chiffres exacts :

SUBDIVISION DE LA DÉPENSE.	DÉPENSES faites pour excaver 1 mètre cube de roche en galerie	
	à la main.	avec les perforateurs.
Temps nécessaire pour excaver 1 mètre cube de roche.	heures. 27	heures. 14 1/4
	francs.	francs.
Salaires des mineurs.	68,57	32,75
Poudre et fusée.	2,78	1,95
Machinistes et ajusteurs.	»	3,55
Entretien du compresseur.	»	0,40
Intérêt, amortissement du capital de premier établissement (10 p. 100 de la somme totale). . . .	»	6,68
Total.	71,35	45,33
Économie réalisée par l'emploi des perforateurs. .	. . . .	26,02

Ce tableau établit nettement l'avantage qu'on peut trouver à appliquer les perforateurs au creusement des galeries à travers bancs, il forme donc la meilleure conclusion qu'on puisse donner à un travail dont le but est d'appeler sur ces appareils l'attention des exploitants.

Anzin, novembre 1871.

MÉMOIRE

SUR DIVERS SYSTÈMES DE RÉGULATEURS A FORCE CENTRIFUGE.

Par M. WORMS DE ROMILLY, ingénieur des mines.

Les régulateurs employés sur les machines à vapeur appartiennent presque tous au système des régulateurs à force centrifuge.

Ces appareils se composent généralement de deux bras terminés par des masses sphériques et articulés à leur partie supérieure sur un axe, dont la vitesse de rotation est dans un rapport constant avec celle de la machine. Deux autres leviers articulés d'une part sur un manchon mobile le long de l'axe, et de l'autre sur les bras, forment avec les premiers un losange (*fig.* 1, Pl. III).

La position du manchon sur l'axe varie avec la vitesse de la machine, et cette pièce agit en se déplaçant sur une valve ou sur les organes de la distribution de vapeur, de manière à modifier la puissance dans le sens des modifications que subit la résistance.

On peut étudier les régulateurs à deux points de vue tout à fait différents. On peut chercher quelles seront les vitesses de rotation correspondant à l'état d'équilibre du régulateur pour une inclinaison donnée de ses bras, ou ce qui revient au même, pour un certain travail effectué par la machine.

Sous ce rapport, un régulateur dont la vitesse est indépendante de l'inclinaison des bras est un appareil parfait. Un très grand nombre de solutions de ce problème, les unes rigoureuses, les autres approchées, mais suffisantes au point de vue pratique, ont été proposées.

On peut aussi chercher, un régulateur étant donné, comment lorsque l'équilibre préexistant vient à cesser, par suite d'un changement de la résistance, le régulateur parviendra à la nouvelle position d'équilibre correspondant au nouvel état de choses, et comment variera, dans l'intervalle, la puissance et par suite la vitesse de la machine.

Si, à un certain moment, la résistance diminue brusquement, la vitesse de la machine doit s'accélérer; sous l'influence du changement de vitesse, les boules du régulateur s'élèveront; mais, en vertu de la vitesse acquise, les bras dépasseront l'inclinaison qui correspondrait à l'équilibre nouveau, puis ils s'arrêteront. Il est bien évident que la puissance sera alors très-faible; un effet inverse se produira donc, et les bras du régulateur accompliront une série d'oscillations dont l'amplitude pourra aller en croissant ou en décroissant, ou se maintenir constamment égale; nous dirons que les oscillations sont divergentes dans le premier cas, convergentes dans le second, égales dans le troisième.

Representons par les abscisses d'une courbe les valeurs que prend la vitesse d'équilibre ω d'un régulateur pour diverses inclinaisons φ des bras sur l'axe; soit $\omega = F(\varphi)$ la relation qui lie ces deux quantités.

Un régulateur est toujours calculé pour marcher avec une vitesse ω_1, lorsque l'inclinaison des bras est φ_1.

Si pour ces valeurs de ω et φ, l'expression $\frac{d\omega}{d\varphi}$ est nulle, la tangente au point $\omega_1\,\varphi_1$ sera horizontale; si $\frac{d^2\omega}{d\varphi^2}$ est aussi nulle, la courbe présentera, en outre, un point d'inflexion; à mesure qu'un plus grand nombre de dérivées seront nulles pour les valeurs ω_1, φ_1, le régulateur se rapprochera de la solution rigoureuse pour laquelle la vitesse d'équilibre serait indépendante de l'inclinaison des bras; la durée de ses révolutions sera de plus en plus constante pour toutes

es positions; en un mot, le régulateur tendra à devenir isochrone.

Dans les régulateurs les plus employés, on ne cherche à satisfaire qu'à la relation $\frac{d\omega}{d\varphi} = 0$; quand la dérivée seconde est aussi nulle, le régulateur présente, au point de vue pratique, tous les avantages d'une solution rigoureuse, et il est inutile de chercher à atteindre une plus grande exactitude.

Régulateur ordinaire. — Dans un régulateur ordinaire (*fig.* 2, Pl. III), la relation qui lie la vitesse à l'inclinaison des bras est, en désignant par g l'intensité de la pesanteur, par l la longueur CG du bras, et par a la distance cc' des points de suspension de ses bras

$$\omega^2(a + l \sin\varphi)\cos\varphi = g\sin\varphi.$$

Si on suppose que la vitesse réelle diffère de celle qui est donnée par cette relation, le régulateur tend à se déplacer dans le sens vertical; soit f la force appliquée en G, perpendiculairement a CG, qui tend à écarter le bras de la direction verticale, on a

$$f = m\omega^2\cos\varphi(a + l\sin\varphi) - mg\sin\varphi.$$

M. Foucault a inventé un régulateur que l'on peut considérer, d'après ce que nous avons dit plus haut, comme isochrone. Presque à la même époque, MM. Farcot en construisaient un autre basé sur le même principe.

L'appareil de M. Foucault (*fig.* 3, Pl. III) se compose d'un régulateur ordinaire dont les boules portent deux saillies EE' sur lesquelles sont fixées les extrémités d'un ressort à boudin qui tend à rapprocher les boules l'une de l'autre. On peut définir la position du point E par sa distance L au point C, et par l'angle invariable ECG $= \varepsilon$.

Nous admettrons que l'allongement d'un ressort à boudin est proportionnel à l'effort exercé sur lui, suivant son axe. Nous aurons alors, en désignant par T l'effort de traction exercé par le ressort sur le point E, suivant la direction EE', par Q un facteur numérique dont nous chercherons plus loin la valeur, par 2Δ la longueur du ressort au repos

$$T\Delta = Q[a + L\sin(\varphi + \varepsilon) - \Delta].$$

La force T peut être décomposée en deux dirigées l'une suivant CE, l'autre suivant EI perpendiculaire a CG; cette seconde composante aura pour valeur

$$T\frac{\cos(\varphi + \varepsilon)}{\cos\varepsilon},$$

et elle peut être remplacée par une force de même direction appliquée en G et égale à

$$T\frac{L}{l}\cos(\varphi + \varepsilon).$$

Les autres forces qui agissent sur le régulateur sont la pesanteur et la force centrifuge; l'équation qui exprime l'équilibre est donc

$$mg\sin\varphi + \frac{LQ}{l\Delta}[a + L\sin(\varphi + \varepsilon) - \Delta]\cos(\varphi + \varepsilon)$$
$$- m\omega^2\cos\varphi(a + l\sin\varphi) = 0.$$

Les qaantités ω_1, φ_1 étant données, on peut déterminer a, l, L, m, ε, Q, Δ de manière à approcher autant que possible de l'isochronisme; si nous différentions par rapport à φ, et si nous faisons ensuite dans les équations obtenues

$$\varphi_1 = 45^\circ \; \frac{d\omega}{d\varphi} = \frac{d^2\omega}{d\varphi} = \frac{d^3\omega}{d\varphi} = 0,$$

nous aurons quatre équations de condition; mais on voit

immédiatement que la quatrième est incompatible avec la deuxième; on ne peut donc pas satisfaire à la relation

$$\frac{d^3\omega}{d\varphi} = 0.$$

Ne prenons donc que les équations obtenues par les deux premières différentiations, et posons pour simplifier l'écriture

$$x = \frac{LQ(a - \Delta)}{ml\Delta}, \qquad y = \frac{L^2Q}{ml\Delta};$$

nous aurons

$$g + x(\cos\varepsilon - \sin\varepsilon) + \frac{y}{\sqrt{2}}\cos 2\varepsilon - a\omega^2 - \frac{\omega^2 l}{\sqrt{2}} = 0,$$

$$g - x(\cos\varepsilon + \sin\varepsilon) - \sqrt{2}\,y\sin 2\varepsilon + a\omega^2 = 0,$$

$$g + x(\cos\varepsilon - \sin\varepsilon) + 2\sqrt{2}\,y\cos 2\varepsilon - a\omega^2 - 2\sqrt{2}\,\omega^2 l = 0.$$

En résolvant ce système d'équations, on trouve :

$$(a) \qquad y\cos 2\varepsilon = l\omega^2 \qquad x = \frac{1}{2\sin\varepsilon}\left(2g - \sqrt{2}\,l\omega^2 \operatorname{tang} 2\varepsilon\right)$$

$$\frac{a}{l} = \frac{g\cot\varepsilon}{l\omega^2} - \frac{(\cos\varepsilon - \sin\varepsilon)}{\sqrt{2}\sin\varepsilon}\operatorname{tang} 2\varepsilon.$$

Si l'on suppose a égale à Δ, x devient nul; ce cas est celui où la longueur du ressort abandonné à lui-même est précisément égal à l'écart des axes de rotation des bras du régulateur; les relations précédentes se simplifient alors et donnent les valeurs suivantes :

$$\omega^2 a = g \qquad \frac{a}{l} = \frac{1}{\sqrt{2}}\operatorname{tang} 2\varepsilon \qquad \frac{L^2Q}{ml\Delta} = \frac{\sqrt{2}\,g}{\sin 2\varepsilon}.$$

Dans le cas général on aurait, en remplaçant également x

et y par leurs valeurs dans les équations (a),

$$(b) \qquad \Delta = a + \frac{L \cos 2\varepsilon}{l\omega^2}\left[\frac{g}{\sin\varepsilon} - \frac{l\omega^2}{\sqrt{2}\sin\varepsilon}\operatorname{tang} 2\varepsilon\right],$$

$$Q = \frac{ml^2\Delta\omega^2}{L^2 \cos 2\varepsilon}.$$

La dernière des équations (a) détermine, pour une vitesse ω, les valeurs de a et de l. La première des équations (b) donne Δ et la seconde le rapport $\frac{Q}{m}$. On pourra donc choisir arbitrairement Q ou m.

Ceci nous amène à chercher les éléments d'un ressort à boudin capable de produire un certain effet, c'est-à-dire à exprimer Q en fonction des dimensions du ressort.

Considérons une spire (*fig.* 4, Pl. III) soumise à deux forces P agissant en son milieu. Nous pouvons regarder la spire après sa déformation comme un solide invariable, et remplacer les forces $+$ P, $-$ P, par quatre composantes égales à $\frac{P}{2}$ en valeur absolue et appliquées aux extrémités du diamètre HK. Chaque demi-spire (*fig.* 5, Pl. III) sera alors soumise à un couple TH, KN, dont les composantes ont une valeur $\frac{P}{2}$. Nous supposerons que le point I milieu de l'arc HIK est fixe. Soit M un point du ressort tel que IM $=$ S, nous pourrons poser la relation :

$$EI\frac{d^2z}{dS^2} = \frac{PD}{2}\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{S}{D}\right)$$

où E est le coefficient d'élasticité du métal qui forme le ressort, D le diamètre moyen de la spire, I le moment d'inertie de la section du fil, Z la distance du point M au-

dessus d'un plan horizontal passant par le point I. Pour le point M' symétrique de M on aurait de même

$$\mathrm{EI}\frac{d^2z}{d\mathrm{S}^2} = -\frac{\mathrm{PD}}{2}\sin\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{D}}\right);$$

intégrant par rapport à S, nous aurons

$$\mathrm{EI}\frac{dz}{d\mathrm{S}} = \frac{\mathrm{PD}^2}{2}\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{D}}\right)+\mathrm{C},$$

$$\mathrm{EI}\frac{dz}{d\mathrm{S}} = \frac{\mathrm{PD}^2}{2}\cos\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{D}}\right)+\mathrm{E}_1,$$

Pour $S = o$ $P = o$, on doit avoir $\frac{dz}{dS} = \sin\alpha$, α étant l'angle que fait la tangente à la spire avec le plan horizontal, qui est en même temps perpendiculaire à la direction des forces P. Donc $C_1 = E_1 = \mathrm{EI}\sin\alpha$ et l'inclinaison au point I sera en général

$$\frac{dz}{d\mathrm{S}} = \frac{\mathrm{PD}^2}{2\mathrm{EI}}\cos\frac{\pi}{4}+\sin\alpha = \sin\alpha'.$$

Or il est bien évident que l'inclinaison sera la même en tous les points du fil du ressort. Si l'on veut avoir la différence de niveau Z des extrémités d'une spire, on aura, en supposant α, α' très-petits,

$$\mathrm{Z}\alpha' = \pi\mathrm{D}\,\mathrm{tang}\,\alpha' = \pi\mathrm{D}\sin\alpha'.$$

L'allongement δ du ressort sera donc pour n spires égal à

$$\delta = \frac{n\pi\mathrm{PD}^3}{2\mathrm{EI}}\cos\frac{\pi}{4}.$$

Soit L la longueur de ressort, d le diamètre du fil, et

admettons qu'au repos, c'est-à-dire quand P est nul, les spires sont toutes au contact les unes des autres.

$$L = nd \qquad I = \frac{\pi d^4}{64} \qquad \delta = 32\,\frac{LPD^2}{Ed^4}\cos\frac{\pi}{4}.$$

L'unité de longueur est le mètre, mais il est plus commode d'exprimer δ, D, d en millimètre et de rapporter E au millimètre quarré. On a alors

$$\delta = 22200\,\frac{LPD^3}{Ed^5}.$$

Les fils des ressorts à boudins sont faits le plus souvent en laiton, pour lequel E = 10000; et alors

$$\delta = 2{,}22\,\frac{LPD^3}{d^5}.$$

Nous avons vérifié cette formule; elle concorde avec les résultats de l'expérience; le coefficient numérique peut d'ailleurs varier suivant la nature du laiton et la préparation qu'il a subie.

Nous pouvons exprimer maintenant Q en fonction des éléments du ressort. Nous aurons

$$Q = 0{,}45\,\frac{d^5}{D^3}.$$

Quant à la force que nous avons désignée par f, son expression sera

$$f = m\omega^2\cos\varphi(a + l\sin\varphi) - mgl\sin\varphi$$
$$-\frac{L^2Q}{l\Delta}\cos(\varphi+\varepsilon)\left[\frac{a-\Delta}{l} + \sin(\varphi+\varepsilon)\right].$$

Si ω_1 est la vitesse d'équilibre, f sera nul pour cette valeur

de ω, et l'on peut écrire la relation précédente sous la forme plus simple

$$f = m \cos \varphi (a + l \sin \varphi)(\omega^2 - \omega_1^2).$$

Le régulateur à pas de vis de M. Foucault ne diffère du précédent que par la manière dont les bras sont liés au mouvement de l'axe, et les formules précédentes sont aussi applicables à cet appareil, sur lequel nous reviendrons plus loin.

Régulateur de Bange. — Comme régulateur absolument isochrone, nous citerons celui qui a été imaginé par M. de Bange, et qui présente une particularité assez curieuse.

Ce régulateur se compose de quatre boules $GG'G_1G'_1$ (*fig.* 6, Pl. III) situées de part et d'autre et à égale distance du sommet O du régulateur. Cette disposition a pour effet d'annuler l'action de la pesanteur. Supposons l'axe horizontal, et soit B' le point du manchon auquel sont fixées les extrémités des bielles de longueur λ qui forment le losange articulé OCB'C'; appliquons en B' une force F dirigée suivant l'axe dans le sens OB, le régulateur sera en équilibre lorsque on aura :

$$2ml^2\omega^2 \cos \varphi - \lambda F = 0. \qquad (c)$$

Pour que le régulateur soit isochrone, il faut que F varie proportionnellement à $\cos \varphi$.

Soient maintenant AB, Ad des longueurs quelconques; du point A comme centre avec les rayons AB = R, Ad = r décrivons deux arcs de cercle BD, bd; prenons BD = OG = l et joignons AD. Soient enfin BC, bc les arcs de développantes des cercles DB, db; si on fait tourner le système autour de la perpendiculaire au plan OZAY passant par le point A, les différents points de BD viendront successivement se placer sur l'horizontale BZ. Fixons en C un fil flexible qui s'appuie sur bc et se termine par un poids P, et

désignons par F la force qui devrait être appliquée en B suivant ZB pour faire équilibre au poids P.

Prenons une position quelconque de l'appareil, supposons par exemple que la droite AE est devenue verticale, et désignons par θ l'angle BAE, par ψ l'angle BAD, et par R, r les rayons AB, Ad ; on a

$$BD = l = \psi R \quad eb' = \text{arc } eb = (\psi - \theta)r,$$

et par conséquent

$$P(\psi - \theta)r = FR.$$

Le manchon BB′ porte un manneton qui suit le mouvement de l'arc BD et qui est disposé de telle sorte que les bras du régulateur sont horizontaux lorsque AB est vertical ; l'angle φ est donc lié à l'angle θ par la relation

$$l(1 - \cos\varphi) = BE = \theta R,$$

ce qui donne

$$\frac{Plr\cos\varphi}{R^2} = F;$$

Cette relation est identique avec (c) quand

$$\frac{2m\omega^2 l}{\lambda} = \frac{Pr}{R^2}.$$

La vitesse ω_1 d'équilibre est donc égale à

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{\lambda r}{2mlR^2}}\sqrt{P},$$

c'est-à-dire qu'elle croîtra proportionnellement à la racine carrée du poids P ; de là un moyen simple et facile de régler à chaque instant la marche de la machine.

Nous devons d'ailleurs ajouter que l'emploi d'un fil flexible pour suspendre le contre-poids présente en pra-

tique quelques inconvénients, à cause des oscillations que ce mode de suspension peut causer. La force f est dans ce cas :

$$f = 2ml \sin\varphi \cos\varphi(\omega^2 - \omega_1^2).$$

Cas général des régulateurs isochrones. — Il est du reste facile de voir que pour tous les régulateurs isochrones à force centrifuge, l'expression de f sera de la même forme.

Transportons en effet les points d'application de toutes les forces au centre de gravité des boules du régulateur, et désignons par A la somme des projections sur une perpendiculaire au bras du régulateur de toutes les forces autres que la force centrifuge ; on a

$$f = A + m\omega^2 \cos\varphi(a + l \sin\varphi).$$

Or, si le régulateur est isochrone et si ω_1 est la vitesse d'équilibre

$$o = A + m\omega_1^2 \cos\varphi(a + l \sin\varphi),$$

et par suite

$$f = m \cos\varphi(a + l \sin\varphi)(\omega^2 - \omega_1^2).$$

Régulateur Roland. — M. Roland a inventé un régulateur qui est aussi parfaitement isochrone. Il se compose (*fig.* 7, Pl. III) de trois plateaux P, P', P'' dont les deux extrêmes peuvent se mouvoir le long de l'axe vertical XX' qui est mû par la machine, tandis que le plateau moyen P' est fixé sur l'axe à une hauteur invariable.

Les plateaux sont reliés par un certain nombre de systèmes de losanges articulés disposés symétriquement autour de l'axe XX'; la figure ne représente que l'un de ces systèmes. Il se compose de deux losanges DAOB, D'A'OB' articulés à tous leurs sommets ; les deux côtés AOA' sont formés d'une seule pièce; la même disposition existe pour les côtés BOB'. Par conséquent; si le point A se rapproche du

plateau P′, le point A′ s'en éloignera et les mouvements des plateaux extrêmes dépendront l'un de l'autre.

Deux masses pesantes sont placées en E et E′ ; désignons par l la longueur des côtés des losanges, par m, m' les masses des boules E, E′ situées à la même distance d du point O, par M, M′ les masses des plateaux P, P′ ; par 2φ l'angle ADB, par σ le nombre des systèmes de losanges, par a la distance des points D, O, D′ à l'axe. Le plateau P et la boule E agiront l'un et l'autre par leur poids, la boule E agira en outre en vertu de la vitesse dont elle est animée.

Transportons en A suivant la ligne TA perpendiculaire à OA les points d'application des trois forces, elles seront représentées par des composantes dont les valeurs seront :

$$\frac{Mg}{\sigma}\sin\varphi,\quad mg\frac{d}{l}\sin\varphi,\quad -m\omega^2(a-d\sin\varphi)\frac{d}{l}\cos\varphi.$$

Le plateau inférieur P″ exercera une traction qui supposée de même appliquée en A suivant AT donnera une composante $\frac{M'g}{\sigma}\sin\varphi'$ en désignant par $2\varphi'$ l'angle A′D′B′. La résultante de toutes ces forces aura pour valeur

$$f_1=\frac{Mg}{\sigma}\sin\varphi+\frac{M'g}{\sigma}\sin\varphi'+mg\frac{d}{l}\sin\varphi-m\omega^2(a-d\sin\varphi)\frac{d}{l}\cos\varphi.$$

En effectuant les mêmes calculs pour le point B′, on trouverait une résultante dirigée suivant B′T′ :

$$f_1'=\frac{Mg}{\sigma}\sin\varphi+\frac{M'g}{\sigma}\sin\varphi'+mg\frac{d}{l}\sin\varphi'-m\omega^2(a+d\sin\varphi')\frac{d}{l}\cos\varphi'.$$

Pour qu'il y ait équilibre, il faut et il suffit que la somme des forces f_1, f_1' soit nulle, puisque les bras de levier des deux résultantes sont égaux et que ces forces tendent à produire des mouvements de même sens ; on doit donc avoir :

$$\frac{2Mg}{\sigma}\sin\varphi + \frac{2M'g}{\sigma}\sin\varphi' + mg\frac{d}{l}(\sin\varphi + \sin\varphi') -$$
$$- ma\omega^2\frac{d}{l}(\cos\varphi + \cos\varphi') + m\omega^2\frac{d^2}{2l}(\sin 2\varphi - \sin 2\varphi') = 0.$$

Si nous prenons $\varphi = \frac{\pi}{2} - \varphi'$, ce qui revient à exprimer que l'angle AOA' = BOB' est invariable, et M = M', il vient en supprimant un facteur commun à tous les termes

$$\frac{2Mg}{\sigma} + mg\frac{d}{l} - m\omega^2 a\frac{d}{l} = 0$$

ou

$$\omega = \sqrt{1 + \frac{2Ml}{m\sigma d}}\sqrt{\frac{g}{a}}.$$

La vitesse d'équilibre sera indépendante de l'angle φ et variera avec M; on pourra régler le régulateur pour une vitesse quelconque au moyen de poids mobiles égaux placés sur les plateaux extrêmes. Quant à la force f elle a pour valeur

$$f = ma\frac{d}{l}(\sin\varphi + \cos\varphi)(\omega^2 - \omega_1^2).$$

Données numériques. Régulateur Foucault. — Déterminons la vitesse d'équilibre et les dimensions d'un régulateur du système de M. Foucault. Soient :

$$\varepsilon = 20° \quad a = 0^m,025 \quad l = 0^m,09 \quad L = 0,08.$$

On déduit de ces données les valeurs suivantes :

$$\omega^2 = 196 \quad \omega = 14 \quad \Delta = 0^m,0327$$
$$\frac{Q}{m} = 10,6.$$

Si $mg = 0^k,490$, on a $m = 0,05$, $Q = 0,530$. Prenons un

fil de laiton dont le diamètre d soit de 1 millimètre, nous trouverons pour le diamètre moyen D de la spire $9^{mm},52$.

Dans la pratique, il faut tenir compte du poids des bras inférieurs du régulateur et du manchon; du reste, l'influence de ce dernier poids est faible, et avec un appareil de la dimension de celui que nous venons de calculer, une erreur du simple au double sur le poids du manchon correspond à un changement d'un très-petit nombre de tours par minute.

Sensibilité des régulateurs. — Nous n'avons considéré jusqu'ici que l'état d'équilibre du régulateur; voyons maintenant comment un régulateur se comporte pour passer d'une position d'équilibre à une autre, lorsque la résistance vient à changer.

Un premier élément qui influe beaucoup sur la marche de l'appareil est sa sensibilité; le manchon frotte toujours un peu sur son axe, les articulations exigent un certain effort pour jouer, on ne peut donc pas admettre que les bras du régulateur s'écartent dès que la vitesse de la machine augmente. Nous avons vu que la force qui tend à produire le déplacement des bras dans le sens vertical a pour expression dans le cas du régulateur simple

$$f = m \cos\varphi(a + l \sin\varphi)(\omega^2 - \omega_1^2),$$

la vitesse ω_1 étant celle qui satisfait à la relation

$$\omega_1^2 \cos\varphi(a + l \sin\varphi) - g \sin\varphi = 0.$$

En raison des frottements, le mouvement dans le sens vertical commencera seulement quand f aura atteint une certaine valeur f_1, et à ce moment ω sera devenu égal à $\omega_1 + \frac{\omega_1}{n}$. On a donc

$$\frac{\omega_1}{n} = \sqrt{\omega_1^2 + \frac{f_1}{m \cos\varphi(a + l \sin\varphi)}} - \omega_1;$$

le régulateur sera d'autant plus sensible que $\frac{\omega_1}{n}$ sera plus faible, et par conséquent que $m \cos\varphi\,(a + l \sin\varphi)$ sera plus grand. Ainsi, pour augmenter la sensibilité d'un régulateur ordinaire, il faut augmenter sa masse m.

On a une application de ce fait dans un régulateur très-employé aux États-Unis (le régulateur Porter), dont M. Tresca a signalé les propriétés dans ses études sur l'Exposition de 1862.

Cet appareil (*fig.* 8, Pl. III) se compose d'un losange fixe à sa partie supérieure sur l'arbre DD′ et dont les bras inférieurs sont articulés sur un manchon surmonté d'une masse métallique de forme ovoïde.

Appelons p le poids d'une boule G, 2P celui du manchon, h la longueur des bras, 2φ l'angle GDG′, on peut supposer la masse du manchon transportée au centre de gravité des boules et on a

$$(P + p)g = ph\omega^2 \cos\varphi.$$

Si R est la résistance que le manchon oppose à son déplacement suivant l'axe, on a au moment où il commence à se mouvoir une vitesse ω' telle que

$$\frac{p}{g}\,\omega'^2 h \cos\varphi = p + P + R$$

ou

$$\omega'^2 = \frac{g}{h}\,\frac{p + P + R}{p \cos\varphi},$$

la vitesse d'équilibre étant, abstraction faite des frottements

$$\omega_1^2 = \frac{g}{h}\,\frac{P + p}{p \cos\varphi}.$$

On voit que

$$\frac{\omega'^2}{\omega_1^2} = \frac{P + p + R}{P + p} = 1 + \frac{R}{P + p},$$

c'est-à-dire que la vitesse ω' sera d'autant plus petite que P ou la masse du manchon sera plus considérable.

Action du régulateur sur l'admission de vapeur. — Nous sommes obligé avant d'aller plus loin de préciser dans quelle mesure la position du régulateur influe sur la marche de la machine.

Soit α, β (*fig.* 9, Pl. III) les angles des bras du régulateur avec l'axe pour les deux positions extrêmes correspondant à l'ouverture maximum et à la fermeture de la valve d'admission de vapeur.

K étant un coefficient numérique, F_φ la force développée par la machine pour une inclinaison φ du régulateur, on peut admettre par exemple que

$$F_\varphi = K \frac{\cos\varphi - \cos\beta}{\cos\alpha - \cos\beta}.$$

Si la machine peut produire au maximum une force de n chevaux, et si F^m_φ est le travail moteur à un instant donné, $F^r_{\varphi_1}$ le travail résistant au même instant, on a en remarquant que K est égal à 75 n :

$$F^m_\varphi - F^r_{\varphi_1} = 75.n.\frac{\cos\varphi - \cos\varphi_1}{\cos\alpha - \cos\beta}.$$

Supposons toute la masse de la machine et des outils concentrée sur un volant de rayon ρ et de masse μ. A l'origine du temps, la machine est dans un état d'équilibre entre la puissance et la résistance, et la vitesse est $\sigma\omega_0$; la résistance qui était F^r_{φ}, change alors brusquement et devient $F^r_{\varphi_1}$, l'équilibre est rompu, le régulateur se déplace, la vitesse de la machine change, et au bout d'un certain temps t la vitesse sera devenue $\sigma\omega$. On aura entre ces diverses quantités la relation

$$\frac{1}{2}\sigma^2\mu\rho^2(\omega^2-\omega_0^2)=\int_0^t\left(F_\varphi^m-F_{\varphi_1}^r\right)dt=$$
$$=n.75\int_0^t\frac{\cos\varphi-\cos\varphi_1}{\cos\alpha-\cos\beta}\,dt.$$

Le coefficient σ que nous avons introduit dans l'expression de la vitesse représente le rapport invariable qui existe entre la vitesse de la machine et celle du régulateur, c'est-à-dire entre le nombre de tours du volant et du régulateur pendant une seconde.

Dans ce qui suit nous supposerons que la différence des angles φ et φ_1 est très-petite, et alors l'équation précédente devient en posant $\varphi=\varphi_1-\eta$.

$$\frac{1}{2}\sigma^2\mu\rho^2(\omega^2-\omega_0^2)=\frac{n.75.\sin\varphi_1}{\cos\alpha-\cos\beta}\int_0^t\eta dt=A\,\frac{1}{2}\,\mu\rho^2\sigma^2U$$

ou

$$U=\int_0^t\eta dt\qquad A=\frac{2.75\,n\sin\varphi_1}{\mu\rho^2\sigma^2(\cos\alpha-\cos\beta)}.$$

Considérons d'abord un régulateur ordinaire. En adoptant les mêmes notations que plus haut, le mouvement du régulateur sera défini par l'équation

$$ml\frac{d^2\varphi}{dt^2}=-ml\frac{d^3U}{dt^3}=m\omega^2\cos\varphi(a+l\sin\varphi)-mg\sin\varphi,$$

à laquelle on peut joindre la suivante

$$0=\omega_1^2\cos\varphi_1(a+l\sin\varphi_1)-g\sin\varphi_1,$$

ce qui donne en retranchant la seconde de la première divisée par m:

$$(d)\quad -l\frac{d^3U}{dt^3}=a(\omega^2\cos\varphi-\omega_1^2\cos\varphi_1)+\frac{l}{2}(\omega^2\sin2\varphi-\omega_1^2\sin2\varphi_1)-$$
$$g(\sin\varphi-\sin\varphi_1).$$

Supposons que ω^2 ne varie pas très-rapidement, c'est-à-dire que le régulateur est très-sensible; cette hypothèse est d'ailleurs une conséquence de ce fait que nous ne tenons pas compte des frottements. Dans ce cas, $\omega^2 - \omega_0^2$ sera toujours très-petit, et on pourra négliger le produit $\eta(\omega^2 - \omega_0^2)$; alors l'équation ($d$) devient

$$+ l\frac{d^3U}{dt^3} + D\frac{dU}{dt} + BU + D\eta_0 = o.$$

en posant

$$B = \frac{2.75.\,n \sin\varphi_1}{\mu\rho^2\sigma^2(\cos\alpha - \cos\beta)}[a\cos\varphi_1 + l\sin\varphi_1\cos\varphi_1],$$

$$D = a\omega_0^2\sin\varphi_1 + g\cos\varphi_1 - l\omega_0^2\cos 2\varphi_1.$$

Régulateur isochrone. — Prenons maintenant le cas d'un régulateur isochrone. Les équations qui représentent les variations de l'angle φ seront

$$l\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \omega^2\cos\varphi(a + l\sin\varphi)(\omega^2 - \omega_1^2)$$

$$\omega^2 - \omega_1^2 = AU,$$

de sorte que l'on a

$$(d') \qquad -l\frac{d^3U}{dt^3} = \cos\varphi_1(a + l\sin\varphi_1)AU$$

ou

$$l\frac{d^3U}{dt^3} + BU = o.$$

L'intégrale de cette équation est :

$$U = Ce^{-2\alpha_1 t} + e^{\alpha_1 t}(C_2\cos\beta t + C_3\sin\beta t);$$

en appelant

$$-2\alpha_1,\quad \alpha_1 + \beta\sqrt{-1},\quad -\alpha_1 + \beta\sqrt{-1}$$

les trois racines de l'équation

$$l\alpha^3 + B = o,$$

les constantes C_1, C_2, C_3 sont déterminées par la condition que pour $t = o$, on ait :

$$U_0 = o \quad \left(\frac{dU}{dt}\right)_0 = \eta_0 \quad \left(\frac{d^2U}{dt^2}\right)_0 = o,$$

Ce qui conduit aux valeurs suivantes en remplaçant β par sa valeur $\alpha_1 \sqrt{3}$.

$$C_1 = -C_2 = -\frac{\eta_0}{6\alpha_1}, \quad C_3 = o.$$

$$(e) \qquad U = \frac{\eta_0}{6\alpha_1}\left(-e^{-2\alpha_1 t} + e^{\alpha_1 t} \cos \alpha_1 \sqrt{3}\, t\right);$$

la fonction U est égale au produit d'une quantité constante par le facteur $(\omega^2 - \omega_1^2)$; donc la différence $\omega^2 - \omega_1^2$, et par suite la vitesse ω prendra des valeurs variables alternativement inférieures et supérieures à ω_1; la fonction U sera périodique; elle se compose de deux termes, l'un $e^{-2\alpha_1 t}$ qui diminuera d'une manière continue, et deviendra négligeable au bout de quelques secondes; l'autre $e^{\alpha_1 t} \cos \sqrt{3}\, \alpha_1 t$ qui sera périodique et dont le maximum augmentera en valeur absolue à chaque période; ainsi la vitesse ω sera à chaque oscillation plus grande en valeur absolue. Les oscillations du régulateur seront divergentes.

Régulateur ordinaire. — Revenons au cas du régulateur ordinaire.

L'intégrale de

$$l\frac{d^2U}{dt^2} + D\frac{dU}{dt} + BU + D\eta_0 = o$$

sera de la forme

$$U = C_1 e^{-2\alpha_1 t} + e^{\alpha_1 t}(C_2 \cos \beta t + C_3 \sin \beta t) + E = o.$$

Les constantes se détermineront par les conditions que nous avons indiquées précédemment :

$$C_1 = -\frac{2\alpha\eta_0 + E(\alpha_1^2 + \beta^2)}{9\alpha_1^2 + \beta^2} \qquad E = -\frac{D\eta_0}{B}$$

$$C_2 = 2\alpha_1 \frac{\eta_0 - 4E\alpha_1}{9\alpha_1^2 + \beta^2}$$

$$C_3 = \frac{(3\alpha_1^2 + \beta^2)\eta_0 - 2E\alpha_1(\beta^2 - 3\alpha_1^2)}{\beta(9\alpha_1^2 + \beta^2)};$$

le mouvement du régulateur sera de même nature que dans le cas du régulateur isochrone, quoique un peu plus compliqué ; la formule pourrait même se ramener complétement à la forme (*e*) si C_3 était nul, ce qui aurait lieu si la valeur de $2\alpha_1$ qui satisfait à la relation

$$8\alpha_1^3 = \frac{2B(2D - Bl)}{l(4D + Bl)}$$

était en même temps racine de l'équation

$$l\alpha^3 + D\alpha + B = 0.$$

Divergence des oscillations. — En pratique, les régulateurs ordinaires ne présentent pas en général le caractère d'oscillations divergentes que nous donne le calcul; cela peut provenir de deux causes dont nous n'avons pas tenu compte.

La première est le frottement; il nous semble difficile de prévoir quelle peut être son influence.

La seconde est que la puissance n'agit pas d'une manière continue comme nous l'avons admis, mais par une série d'impulsions successives, périodiques, dont l'intensité varie constamment, et se reproduit à peu près de même à chaque course du piston.

Mais les résultats que fournit le calcul du régulateur

complet de M. Foucault, nous portent à regarder la première de ces deux causes comme beaucoup plus énergique que la seconde.

Régulateur Foucault à hélice. — Examinons maintenant le cas du régulateur complet de M. Foucault.

Cet appareil se compose d'un régulateur à ressort précédemment décrit (*fig.* 3, Pl. III), qui est muni à sa partie supérieure d'un volant faisant corps avec lui (*fig.* 10). Une chape F est ménagée au-dessous du volant; elle repose sur l'extrémité supérieure de l'arbre vertical D D', mû par la machine. Cet arbre porte sur une partie HH' de sa hauteur un pas de vis dont le manchon du régulateur forme l'écrou, et c'est par l'intermédiaire de ces deux pièces que le mouvement de l'arbre peut se transmettre au régulateur.

On peut déduire du mode de construction adopté cette conséquence, que cet appareil doit jouir d'une sensibilité tout à fait exceptionnelle. Supposons en effet que le régulateur se trouvant dans un état d'équilibre, la résistance vienne à diminuer, la vitesse de l'arbre croîtra aussitôt, et la vis tournant plus vite que son écrou, forcera celui-ci à remonter. L'ouverture de la valve d'admission de vapeur sera aussitôt modifiée.

Dans un régulateur ordinaire, les boules ne se seraient écartées de l'axe qu'au moment où la vitesse acquise par la machine aurait été assez grande pour que la force centrifuge correspondante fût capable de vaincre les résistances passives qui s'opposent à l'écartement des bras.

La relation entre les variations de force vive et le travail nous permet de mettre le problème en équations.

Désignons par :

Ω la vitesse de rotation du régulateur,
ω la vitesse de rotation de l'arbre DD',
$\sigma\,\omega$ la vitesse de rotation du volant de la machine,
M la masse du volant du régulateur,
m la masse de chaque boule,

l la longueur du bras CG,
λ la longueur du bras CA,
γ l'angle de la tangente à l'hélice de l'arbre vertical DD' avec un plan horizontal,
φ l'angle du bras du régulateur avec l'axe DD';
f la force qui tend à produire le déplacement du bras dans le plan vertical,
H la force exercée par l'arbre sur l'écrou perpendiculairement aux surfaces de contact, en raison de la différence de vitesse de l'écrou et de la vis,
a la longueur CC',
$\omega_0 = \Omega_0$ la vitesse à l'origine du temps qui est en même temps la vitesse d'équilibre du régulateur.

Enfin nous continuerons à attribuer la même signification que précédemment aux lettres φ_1, μ, ρ, α, β, η, U. Nous admettrons par conséquent la relation :

$$(h) \quad \frac{1}{2}\sigma^2\mu\rho^2(\omega^2-\omega_0^2) = \frac{n.75.\sin\varphi_1}{\cos\alpha-\cos\beta}\int_0^t \eta dt = \frac{1}{2}\mathrm{A}\mu\rho^2\sigma^2\mathrm{U}$$

et nous avons d'autre part

$$f = m\cos\varphi(a+l\sin\varphi)(\Omega^2-\Omega_0^2.)$$

La variation de force vive sera dans le temps dt

$$\frac{1}{2}(\mathrm{M}\tau^2+2ml^2\sin^2\varphi)(\Omega^2{}_{t+dt}-\Omega^2{}_t)+ml^2\left[\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2_{t+dt}-\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2_t\right],$$

le travail des forces f, H sera

$$2fld\varphi+\mathrm{H}r(\omega-\Omega)\sin\gamma dt.$$

La force H doit aussi satisfaire à l'équation de condition :

$$\mathrm{H}r(\omega-\Omega)\sin^2\gamma dt = \frac{1}{2}(\mathrm{M}\tau^2+2ml^2\sin^2\varphi)(\Omega^2{}_{t+dt}-\Omega^2{}_t).$$

Si nous exprimons que la demi-variation de force vive est égale au travail des forces H et f, et si nous remplaçons H et f par les valeurs déduites des équations précédentes, nous aurons la relation

$$(k) \qquad ml^2\left[\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2_{t+dt} - \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2_t\right]$$
$$-\frac{1}{2}(M\tau^2 + 2ml^2\sin^2\varphi)(\Omega^2_{t+dt} - \Omega^2_t)\cot^2\gamma$$
$$= 2lm\cos\varphi(a + l\sin\varphi)(\Omega^2_t - \Omega^2_0)d\varphi.$$

Il faut que nous exprimions $\Omega d\Omega$ en fonction de φ; il existe une relation entre φ et le déplacement du manchon, et par conséquent entre φ et $\Omega - \omega$. On a

$$2\lambda\sin\varphi d\varphi = r(\omega - \Omega)\operatorname{tang}\gamma dt,$$

et en remplaçant φ par $\varphi_1 - \eta$ et négligeant les infiniments petits du second ordre

$$\omega = \Omega - \frac{2\lambda\sin\varphi_1}{r\operatorname{tang}\gamma}\frac{d\eta}{dt}.$$

La relation (h), en admettant que les variations de ω seront toujours assez faibles, nous donne d'autre part :

$$\omega^2 - \omega_0^2 = AU,$$
$$\omega = \omega_0 + \frac{A}{2\omega_0}U.$$

et par conséquent

$$\Omega = \omega_0 + \frac{A}{2\omega_0}U + \frac{2\lambda\sin\varphi_1}{r\operatorname{tang}\gamma}\frac{d\eta}{dt}.$$

On déduit de là

$$\Omega^2 - \omega_0^2 = AU + \frac{4\lambda\sin\varphi_1}{r\operatorname{tang}\gamma}\omega_0\frac{d\eta}{dt},$$

et enfin

$$\Omega \frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{2} A \frac{dU}{dt} + \frac{2\lambda \sin \varphi_1}{r \operatorname{tang} \gamma} \omega_0 \frac{d^2\eta}{dt^2},$$

et comme d'autre part

$$\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2_{t+dt} - \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2_t = 2 \frac{d\varphi}{dt} \frac{d^2\varphi}{dt^2} dt,$$

$$\Omega^2_{t+dt} - \Omega^2_t = 2\Omega d\Omega,$$

L'équation (k) devient en remarquant que

$$\frac{dU}{dt} = \eta, \qquad \frac{d^2U}{dt^2} = \frac{d\eta}{dt} = -\frac{d\varphi}{dt}$$

$$\cos \varphi (a + l \sin \varphi) = \cos \varphi_1 (a + l \sin \varphi_1) + a\eta \sin \varphi_1,$$

et en négligeant les infiniments petits d'ordre supérieur

$$(m) \qquad 2ml^2 \frac{d^2U}{dt^2} \frac{d^3U}{dt^3} - BE \frac{d^3U}{dt^3} + DE \left(\frac{d^2U}{dt^2}\right)^2$$
$$+ ADU \frac{d^2U}{dt^2} - AB \frac{dU}{dt} = 0,$$

où les lettres B, D, E représentent les termes suivants :

$$B = \frac{1}{2} (M\tau^2 + 2ml^2 \sin^2 \varphi_1) \cot^2 \gamma,$$

$$D = 2ml \cos \varphi_1 (a + l \sin \varphi_1),$$

$$E = \frac{4\lambda\omega_0 \sin \varphi_1}{r \operatorname{tang} \gamma}.$$

si nous supposons que $\gamma = 90$ et que $M = 0$, on a $B = E = 0$, et l'équation (m) se réduit à

$$2ml \frac{d^2U}{dt^2} \left(l \frac{d^3U}{dt^3} + A \cos \varphi_1 (a + l \sin \varphi_1) U \right) = 0,$$

La solution $\frac{d^2U}{dt^2} = o$ correspond au cas ou φ serait invariable et doit être écartée ; l'expression comprise entre parenthèses égalée à zéro, est, comme on devait s'y attendre, l'équation (d') que nous avons obtenue pour le cas d'un régulateur isochrone ordinaire.

Si l'on remplace dans l'équation (m) les coefficients par les valeurs numériques que nous avons déjà choisies pour calculer les dimensions des différentes parties de l'appareil, nous trouverons que le coefficient $\frac{d^2U}{dt^2} \frac{d^3U}{dt^3}$ est très-petit par rapport à tous les autres. Les coefficients de $U \frac{d^2U}{dt^2}$ et de $\left(\frac{d^2U}{dt^2}\right)^2$ sont aussi très-faibles par rapport aux deux autres coefficients, quoique beaucoup plus grands que celui du premier terme; nous admettrons qu'on peut négliger ces trois termes, et après intégration nous vérifierons si cette hypothèse est admissible.

L'équation (m) pourra alors s'écrire

$$E \frac{d^3U}{dt^3} + A \frac{dU}{dt} = o,$$

ou en remplaçant $\frac{dU}{dt}$ par η,

$$\frac{d^2\mu}{dt^2} + \frac{A}{E} \eta = o,$$

dont l'intégrale est

$$\eta = \eta_0 \cos \sqrt{\frac{A}{E}}\, t,$$

puisque la vitesse $\frac{d\eta}{dt}$ est évidemment nulle pour $t = o$.

Le régulateur passera par la position pour laquelle $\eta = o$, chaque fois que t prendra l'une des valeurs suivantes :

$$t_1 = (4K + 1)\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{E}{A}},$$
$$t_3 = (4K + 3)\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{E}{A}},$$

Il passera par les positions extrêmes correspondant à $+\eta_0$ et à $-\eta_0$ pour les valeurs suivantes de t :

$$t_2 = 4K\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{E}{A}} \qquad t_4 = (4K + 2)\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{E}{A}},$$

et nous voyons que les intervalles de temps qui s'écoulent entre les passages du régulateur à chacune de ces positions sont égaux.

Vérifions maintenant si notre hypothèse sur les termes négligeables de l'équation (m) est admissible. Si nous remplaçons U et ses dérivés par leurs valeurs, nous obtenons la relation suivante :

$$ml^2\tau_0^2\frac{A^{\frac{1}{2}}}{E^{\frac{3}{2}}}\sin^2\sqrt{\frac{A}{E}}\,t + B\eta_0\cos\sqrt{\frac{A}{E}}\,t + D\eta_0^2\sin^2\sqrt{\frac{A}{E}}\,t$$
$$- D\eta_0^2\sin^2\sqrt{\frac{A}{E}}\,t - B\eta_0\cos\sqrt{\frac{A}{E}}\,t = 0.$$

Tous les termes s'annulent, sauf le premier ; c'est-à-dire que nous avons trouvé l'intégrale exacte de l'équation complète (m) au premier terme près ; or il est facile de s'assurer que ce premier terme sera inférieur à $0{,}001\,\eta_0^2$, tandis que le second ou le dernier sera supérieur à $30\,\eta_0$.

L'hypothèse que nous avons faite nous paraît par conséquent parfaitement légitime.

Nous n'avons pas tenu compte du frottement, mais il est bien évident que le régulateur de M. Foucault est le seul où son influence soit négligeable, et par conséquent celui

pour lequel les résultats du calcul doivent le plus se rapprocher de ceux de l'expérience.

En effet, une des difficultés que M. Foucault avait rencontrées dans l'application de son régulateur était précisément la périodicité des oscillations; il l'avait surmontée en donnont une forme spéciale à la valve d'admission de vapeur manœuvrée par le régulateur.

Les oscillations seront d'autant plus rapides que $\sqrt{\frac{E}{A}}$ sera plus faible; or cette expression a pour valeur :

$$\sqrt{\frac{2\mu\rho^2\sigma^2\lambda\omega^2(\cos\alpha - \cos\beta)}{75.n.r.\operatorname{tang}\gamma}}.$$

Pour diminuer la rapidité des oscillations, il faudra donc donner au volant de la machine une grande masse, à l'axe qui supporte le régulateur un petit rayon, et à son hélice une inclinaison assez faible sur le plan horizontal.

On peut prendre pour le régulateur dont nous avons donné les dimensions

$$r = 0{,}02 \qquad \gamma = 36^\circ \qquad M = 1 \qquad \tau = 0{,}20.$$

La disposition de la valve a une grande influence sur la nature du mouvement; nous avons admis une relation simple entre la position du régulateur et le travail que nous supposons produit par la machine d'une manière continue et uniforme.

Les conditions seraient tout autres si le régulateur agissait en faisant varier la détente.

Nous devons remarquer que si la masse du volant du régulateur était très-faible ou nulle, le coefficient du premier terme de l'équation (m) ne serait plus négligeable; et par conséquent nos calculs se rapportent au cas où le volant a une certaine masse.

Si, au contraire, la masse du volant du régulateur était très-considérable et comparable à celle du volant de la machine, une partie de la puissance serait absorbée par lui; l'équation (*m*) se réduirait aux deux termes

$$E\frac{d^2U}{dt^2} + A\frac{dU}{dt} = o.$$

On aurait le mouvement périodique que nous avons trouvé; mais les oscillations auraient un caractère de persistance tout particulier, à tel point qu'il serait difficile de les faire disparaître par la disposition de la valve d'admission de vapeur.

L'expérience a en effet montré que si la masse du régulateur dépassait une certaine limite, il était impossible d'empêcher les oscillations périodiques de se produire.

En résumé, nous voyons que les régulateurs ordinaires et isochrones se conduisent sensiblement de la même manière, et donnent lieu tous deux à des oscillations divergentes.

Il n'en est pas ainsi en pratiqne, et ce fait doit être attribué en partie à la forme adoptée pour la valve d'admission de vapeur, en partie à l'influence du frottement dont nous n'avons pas tenu compte.

Dans le cas du régulateur à vis de M. Foucault, les oscillations sont égales; le frottement n'a plus d'influence, et c'est par une disposition convenable de l'admission de vapeur que l'on doit chercher à combattre cet effet.

Il est probable qu'il faudrait disposer la valve de manière à ce que l'admission de vapeur diminuât plus rapidement que nous ne l'avons supposé, lorsque les bras du régulateur s'élèvent.

Quoi qu'il en soit, le régulateur de M. Foucault nous semble supérieur à tous les autres théoriquement, à cause de la sensibilité extrême qu'il possède; nous avons vu que

pour les autres régulateurs la sensibilité augmentait avec la masse des parties de l'appareil qui ne se déforment pas pendant le mouvement, mais sans pouvoir atteindre au même degré que dans l'appareil de M. Foucault, où le changement de vitesse de la machine agit instantanément pour déplacer le régulateur.

Aussi nous sommes persuadés que cet appareil aurait donné une extrême précision à la marche des machines, si la terrible maladie qui a enlevé M. Foucault lui avait permis de terminer ses recherches et de fixer complétement les dimensions de son régulateur et la forme à donner à la valve d'admission de vapeur.

NOTE

SUR L'EMPLOI DE LA DYNAMITE AU BRISEMENT DES GLACES.

Par M. GOBIN, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

La persistance et l'intensité du froid de la saison actuelle ont produit sur quelques points du Rhône, dans la traversée de Lyon, des amoncellements de glace qui menaçaient sérieusement les nombreux établissements flottants stationnant sur le fleuve et pouvaient occasionner de graves sinistres au moment de la débâcle, si le dégel était brusque et coïncidait avec une petite crue du fleuve.

Préoccupé de cette situation, j'ai fait, les 16 et 17 décembre, des essais sur l'emploi de la dynamite pour briser les glaces et déblayer le chenal de navigation. Ces expériences ont été faites en aval du pont Lafayette et en face de la manufacture des tabacs, avec le concours de M. Grenier, entrepreneur de travaux publics et dépositaire de la dynamite de la fabrique de Paulille (Pyrénées-Orientales); les résultats obtenus sont vraiment extraordinaires, et j'ai pensé que, dans les circonstance actuelles, il y aurait quelque utilité à faire connaître cette nouvelle application de la dynamite, et surtout les dispositions spéciales à prendre pour obtenir un maximum d'effet (Pl. III, *fig.* 12 à 20).

L'explosion des cartouches placées sur la glace et recouvertes d'une couche de sable ou de mortier d'argile, produit un simple trou sans longues fentes, même suivant la ligne de moindre résistance, résultat qui est conforme, du reste, à l'action et aux effets ordinaires de cette matière.

Pour détacher de gros blocs de glace d'une masse occupant une large surface, il faut produire une pression presque horizontale dirigée du côté du bord; j'ai atteint ce but de la manière suivante :

A 14 mètres du bord libre de la glace qui, dans mes expériences, présentait une section franche de 18 à 20 centimètres d'épaisseur, j'ai pratiqué à la hache, parallèlement à ce bord, une entaille de 1 mètre de longueur et de 4 à 5 centimètres de profondeur, présentant une section en forme de V, la face la plus voisine du bord étant verticale tandis que l'autre était en talus très-doux (*fig.* 12). La dynamite a été renfermée dans un boudin de 80 centimètres à 1 mètre de longeur, entouré de sciure de bois et de papier ciré pour éviter la gelée; cette cartouche, ainsi confectionnée et amorcée, a été placée dans l'entaille, contre la face verticale, puis recouverte d'une couche de sable de 3 à 4 centimètres d'épaisseur plus chargée du côté du talus, afin de diriger la force explosive sur la face verticale (*fig.* 13 et 15).

L'explosion produisit alors plusieurs fissures qui étaient généralement parallèles au bord de la glace et qui avaient 40 à 50 mètres de longueur de chaque coté (*fig.* 18).

J'ai même obtenu une explosion qui a donné une fissure de 58 mètres de longueur d'un côté et de 160 mètres de l'autre (*fig.* 19).

La charge de chaque boudin n'était que de 210 grammes de dynamite n° 3.

Les blocs ainsi détachés sont donc énormes, puisqu'ils mesurent de 100 à 200 mètres quarrés de surface en trois ou quatre morceaux. Si l'on tient à les diviser davantage, on emploie le mode suivant qui m'a très-bien réussi (*fig.* 14, 17 et 20).

On perce au centre du bloc, à 8 mètres environ de distance des bords, un trou de 8 à 10 centimètres de diamètre, et l'on y passe une cartouche ordinaire fixée à une

mèche étanche en gutta-percha à laquelle est attaché un morceau de bois qui s'appuie sur la glace, en travers du trou et retient le tout suspendu dans l'eau; on peut ainsi fixer le bout de la mèche sur le bord du trou au moyen d'un morceau de glace.

La longueur de la mèche est calculée de manière à ce que la cartouche soit placée à 70 centimètres environ de profondeur au-dessous de la face inférieure de la glace; c'est la distance qui paraît la plus convenable d'après mes expériences; si la glace était plus épaisse, il faudrait réduire cette profondeur, et inversement. Ces cartouches ne contiennent que 17 ou 35 grammes de dynamite; leur explosion soulève la glace et produit des fissures rayonnantes de 10 à 50 mètres de longueur.

Ce système de mines sous-marines peut être employé seul à 7 ou 8 mètres du bord de la masse à déblayer; mais il réussit mieux lorsqu'on l'applique à des glaçons déjà détachés et limités dans tous les sens.

Il est indispensable de faire dégeler préalablement les cartouches et d'éviter la congélation de la dynamite en opérant rapidement. Cette matière durcit en effet lorsqu'elle est exposée à une température inférieure à 7 degrés centigrades et ne détone pas dans cet état; c'est pour cela qu'il est bon d'entourer de sciure de bois les cartouches à plonger dans l'eau, et de les renfermer dans une seconde enveloppe de papier ciré, comme pour les boudins.

L'emploi des boudins réussit moins bien lorsque la glace est plus mince ou moins résistante; il faut alors diminuer la charge et mettre un peu de sciure de bois avec la dynamite pour en modérer l'effet; les mines sous-marines employées seules suffisent aussi dans ce cas.

C'est par ce procédé que j'ai pu faire disparaître en une seule journée 50.000 mètres quarrés de glace qui obstruaient le lit du Rhône entre les ponts de la Guillotière et

du Midi; quatre hommes ont suffi à cette opération, et la dépense totale n'a pas dépassé 40 francs.

On peut donc affirmer maintenant que les débâcles sont devenues impossibles, puisqu'on a un moyen assez puissant et assez économique pour les éviter.

Décembre 1871.

NOTE

SUR UN ACCIDENT ARRIVÉ DANS LA HOUILLÈRE DE BOURRAN, CONCESSION DE LACAZE (AVEYRON).

Le 14 août 1871, trois ouvriers mineurs ont été tués, dans la mine de Bourran, et deux autres blessés, par une explosion de gaz survenue dans des conditions particulières, qu'il a semblé utile de signaler. L'accident a eu lieu dans les travaux de l'étage dit la Reprise du pont. Dans cette partie de l'exploitation, il existe de vieux chantiers non remblayés et en feu, que sépare des travaux actuels une série de barrages, construits en planches ou en terre glaise pilonnée; ces barrages sont surveillés, d'une façon spéciale, et maintenus constamment enduits d'une bouillie de terre glaise, pour empêcher les gaz, qui se produisent continuellement dans les vieux travaux, de pénétrer dans les chantiers en activité.

Le matin, vers onze heures, presque tous les ouvriers sortaient de la mine pour prendre leur repas; l'ingénieur, M. Seybel, resta avec les maîtres mineurs Boutillon et Balsac, pour assister à un essai de dynamite; quelques ouvriers restaient aussi à leurs chantiers pour terminer un travail commencé.

On arrêta pour le graisser, comme on le faisait chaque jour, un ventilateur soufflant, d'une grande puissance, qui a été établi, en 1870, pour l'aérage des travaux de Bourran. La pression atmosphérique extérieure étant à ce moment relativement faible et la force expansive des gaz répandus dans les vieux chantiers n'étant plus suffisamment contrebalancée par l'action du ventilateur, un ancien barrage en

planches creva subitement et les débris en furent lancés dans une des galeries principales : les gaz se répandirent immédiatement dans les travaux actuels, se mélangeant avec l'air, et une explosion se produisit. Un mineur fut tué sur le coup; deux autres, grièvement blessés, succombèrent, l'un le lendemain, l'autre le surlendemain. L'ingénieur et le maître mineur Boutillon furent également blessés, mais sans aucune gravité.

L'ingénieur organisa même le sauvetage ; il envoya immédiatement au machiniste l'ordre de lancer le ventilateur à toute vitesse, et, à l'aide de quelques ouvriers dévoués, on retira en quelques instants les trois victimes.

Deux autres explosions eurent lieu au voisinage des barrages destinés à isoler les vieux travaux en feu, l'une dans la nuit du 17 au 18, l'autre le 18, au moment encore de l'arrêt du ventilateur; mais il n'y avait alors personne dans la mine.

On n'a jamais constaté la présence du grisou dans l'étage de la Reprise du pont, mais la partie abandonnée en proie à l'incendie renferme des gaz carbonés et hydrocarburés, provenant sans doute de la distillation et de la combustion incomplète de la houille. Ces gaz se dégagent d'ordinaire au jour par les fissures du sol, en produisant des fumées et des flammes, notamment au-dessus de la région où est survenue l'explosion. Il est probable que ces issues auront été obstruées, et que de là vient la cause de cette augmentation de pression qui a amené la rupture du barrage; on a reconnu, en effet, dans cette région, des indices d'éboulements récents.

Les ouvriers n'avaient pas de lampes de sûreté, mais les feux qui existent sur plusieurs points de la mine étaient bien suffisants pour allumer le mélange explosible : les deux faits du 18 en fournissent une preuve convaincante.

A la suite de l'accident, on a établi de nouveaux barrages et on a abandonné tout le champ d'exploitation où les

explosions s'étaient produites, c'est-à-dire une largeur de 400 mètres en direction.

Le ventilateur n'est plus arrêté, pour le graissage, qu'après que tous les ouvriers ont quitté les travaux.

Il y aurait lieu, sans doute, aussi d'examiner de temps en temps les évents par où s'échappent les gaz des chantiers en feu, et de veiller à ce qu'ils ne soient pas obstrués par des éboulements, afin d'éviter une augmentation de pression trop considérable en arrière des barrages.

ÉTUDE

SUR LES EFFETS MÉCANIQUES DU MARTEAU-PILON A RESSORT, DIT *Américain*. (*)

Par M. RÉSAL, ingénieur des mines.

Cette machine, qui se construit dans les ateliers de M. Pouhey et dont on a pu voir un spécimen à l'exposition de 1867, produit des effets mécaniques qu'il m'a paru intéressant de soumettre au calcul.

Je me bornerai à en faire une description sommaire.

Un arbre horizontal, par l'intermédiaire des poulies et courroies, peut à volonté être mis en communication avec l'un des arbres de couche de l'usine.

Un disque (**) monté sur l'arbre horizontal, et vers l'une de ses extrémités, porte un maneton excentrique articulé à une bielle qui s'articule d'autre part à la chape d'un ressort demi-circulaire à plusieurs lames étagées à l'intérieur, et dont le diamètre est horizontal. Les extrémités de la maîtresse lame sont articulées à deux chapes qui portent chacune un cylindre mobile autour d'un axe; sur ces cylindres ou rouleaux passe une courroie sur plusieurs épaisseurs.

Au centre de cette courroie, et entre ses deux systèmes

(*) Ce travail m'avait été demandé quelque temps avant sa mort par M. Combes, qui comptait utiliser le marteau à ressort pour éprouver les rails par *vibrations*, selon son expression.

(**) Ce disque reçoit, quand les circonstances l'exigent, l'action d'une mâchoire de frein pour ramener le marteau au repos, après qu'on a débrayé la courroie de transmission.

d'épaisseur, se trouve une pièce de fer qui lui est reliée par des boulons. Cette pièce est articulée à la tige d'un marteau guidé verticalement.

Les *fig.* 21 et 21, Pl. III, donneront une idée beaucoup plus nette de la disposition des différentes pièces du mécanisme que tout ce que je pourrais ajouter à ce qui précède.

Soient :

O l'axe de rotation ;

OA $= r$ la manivelle ;

AB $=$ L la bielle ;

DBD' le ressort ;

C son centre à l'état naturel ;

EE' la pièce en fer établissant la solidarité entre la courroie DED', et le marteau G.

La pièce EE' occupe la plus grande partie de la distance des axes des rouleaux. Les chapes sont d'ailleurs assez courtes et d'un équarrissage assez fort pour que l'on puisse les considérer comme rigides. De sorte que les choses se passent à peu près de la même manière que si la tige du marteau était articulée au milieu F d'une pièce rigide EE', assujettie à partager le mouvement de translation verticale du marteau, et que ses extrémités fussent respectivement réliées à celles du ressort par deux cordes DE et D'E', de même longueur et de même nature dont nous pourrons négliger l'extensibilité.

ÉQUATIONS DU MOUVEMENT DU MARTEAU ENTRE DEUX CHOCS CONSÉCUTIFS.

Soient :

x la distance OF au bout du temps t ;

$V = \frac{dx}{dt}$ la vitesse du marteau ;

φ l'angle formé par la manivelle OA avec la direction OB ;

$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ la vitesse angulaire de la manivelle censée constante et ayant lieu de la droite vers la gauche;

$DE = D'E' = l$ la longueur des cordes ;

ε_0 l'angle qu'elles forment avec l'horizontale, lorsqu'elles sont légèrement tendues, angle supposé assez petit (20° au plus par exemple) pour que l'on puisse en négliger le quarré;

ε ce que devient cet angle au bout du temps t;

T la tension des cordes;

2Q le poids du marteau, de sa tige et de la pièce EE';

$\rho_0 = CB$ le rayon de la fibre moyenne, de la maîtresse lame à l'état naturel;

$\rho_0 (1 + u_1)$, $\frac{\pi}{2} + \delta\theta_1$, ce que deviennent les distances CD, C'D' après la déformation, et leurs inclinaisons CB; u_1 et $\delta\theta_1$ sont supposés assez petits pour qu'on puisse en négliger les secondes puissances.

Nous négligerons l'influence de l'inertie du ressort dans son mouvement relatif par rapport à la bielle, en raison de ce que, d'une part le poids du ressort n'est qu'un vingtième tout au plus de celui du marteau, et de l'autre que ce mouvement relatif n'acquière quelque importance que vers les extrémités du ressort, c'est-à-dire sur une masse relativement très-petite. On peut aussi faire abstraction du mouvement de translation imprimé par la bielle dans le calcul de la flexion du ressort.

On a évidemment :

$$T \sin \varepsilon = Q \left(1 - \frac{1}{g} \frac{dV}{dt}\right),$$

ou

$$(1) \qquad T = \frac{Q}{\varepsilon} \left(1 - \frac{1}{g} \frac{dV}{dt}\right).$$

Pendant la levée du marteau, $\frac{dV}{dt}$ étant négatif, la tension

sera supérieure à ce qu'elle serait si le poids $2Q$ agissait seul sur les cordes; pendant la chute, l'inverse aura lieu; mais à partir de l'instant où T deviendrait nul, puis négatif, l'analyse suivante ne s'appliquerait plus, et $2Q$ se mouvrait comme s'il était libre jusqu'au moment (*) où les cordes se trouveraient de nouveau tendues.

La tension T se décompose en deux autres, l'une

$$T \sin \epsilon = Q\left(1 - \frac{1}{g}\frac{dV}{dt}\right), \text{ suivant la verticale;}$$

l'autre

$$T \cot \epsilon = \frac{Q}{\epsilon}\left(1 - \frac{1}{g}\frac{dV}{dt}\right), \text{ suivant l'horizontale.}$$

Mais on a (**):

$$(2)\quad \left\{\begin{aligned} \rho_0 u_1 &= -\frac{hQ}{\epsilon}\left(1 - \frac{1}{g}\frac{dV}{dt}\right), \\ \rho_0 \varpi_1 &= \frac{h_1 Q}{2}\left(1 - \frac{1}{g}\frac{dV}{dt}\right), \end{aligned}\right.$$

h et h_1 étant des fonctions linéaires de ϵ, dont les coefficients dépendent du rayon ρ_0, du nombre de l'épaisseur et de l'élasticité des lames du ressort.

Tant que la corde est tendue, on peut considérer DE comme rigide.

Les deux déplacements ci-dessus du point D se décomposent dans les suivants:

(*) Nous laissons de côté le cas très-peu probable, et qui ne peut pas rentrer dans le domaine des hypothèses que nous faisons plus bas sur la petitesse des déplacements, où le marteau viendrait à tendre les cordes en agissant de bas en haut.

(**) Voir les formules de la note placée à la fin du mémoire, en y remplaçant Q par $Q\left(1 - \frac{1}{g}\frac{dv}{dt}\right)$.

$$\rho_0\delta\theta_1 - \rho_0 u_1 \cot \varepsilon_0 = \rho_0\delta\theta_0 - \frac{\rho_0 u_1}{\varepsilon_0}, \text{ suivant la verticale};$$

$$\frac{\rho_0 u_1}{\varepsilon_0}, \text{ perpendiculaire à OE.}$$

Le premier, que l'on peut réduire à $-\rho_0 \frac{u_1}{\varepsilon_0}$, attendu que u_1 et $\delta\theta_1$ sont du même ordre de grandeur, a pour effet d'éloigner le point F du centre C, et l'on a :

$$CF = l\varepsilon_0 - \rho_0 \frac{u_1}{\varepsilon_0}.$$

En vertu du second, ε_0 varierait de $-\frac{\rho_0}{ED}\frac{u_1}{\varepsilon_0}$, de sorte que l'on aurait :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{\rho_0}{ED} \cdot \frac{u_1}{\varepsilon}.$$

Nous nous placerons dans des circonstances telles que, quoique $\frac{u_1}{\varepsilon_0}$ soit du second ordre en $\frac{1}{\varepsilon_0}$, néanmoins le terme correctif de ε_0 soit négligeable par rapport à sa grandeur, sauf justification ultérieure; nous supprimerons aussi dorénavant l'indice o de ε.

La figure donne en négligeant l'obliquité de la bielle ou $\frac{r^2}{2l^2}$ devant l'unité :

$$x = OB + BC + CF = r\cos\varphi + L + \rho_0 + l\varepsilon - \frac{\rho_0 u_1}{\varepsilon}$$

$$= r\cos\varphi + L + \rho_0 + l\varepsilon + \frac{Qh}{\varepsilon^2}\left(1 - \frac{1}{g}\frac{d^2x}{dt^2}\right).$$

Posant :

$$a = L + \rho_0 + L\varepsilon,$$

il vient :

$$(3) \qquad \frac{Qh}{\varepsilon^2}\left(1 - \frac{1}{g}\frac{dV}{dt}\right) = -r\cos\varphi - a + x.$$

D'après ce que nous avons vu plus haut, cette équation n'est admissible que si les cordes sont tendues, ce qui exige que

$$(4)\qquad x > a + r\cos\varphi$$

soit :

$$m^2 = \frac{\varepsilon^2 g}{\omega^2 h Q},$$

l'équation (3) devient :

$$(5)\qquad \frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 m^2\left(x - a - \frac{Qh}{\varepsilon^2} r\cos\varphi\right) = 0.$$

Le terme $\frac{Qh}{\varepsilon^2}$, que nous avons laissé subsister à dessein dans cette équation, est évidemment dû à l'influence du poids Q.

On déduit de là :

$$(6)\quad \begin{cases} x = a + \dfrac{Qh}{\varepsilon^2} + \dfrac{m^2 r}{m^2 - 1}\cos\varphi + M\sin m\varphi + N\cos m\varphi, \\ V = \dfrac{dx}{dt} = -\dfrac{m\omega r}{m^2 - 1}\sin\varphi + m\omega(M\cos m\varphi - N\sin m\varphi), \end{cases}$$

M et N étant des constantes arbitraires que nous nous réservons de déterminer dans les différentes circonstances qui peuvent se présenter.

DU CHOC.

Nous ne considérerons que le cas où les cordes sont tendues au moment du choc. Nous avons vu plus haut que, en général, la tension est plus faible que si les cordes n'étaient sollicitées que par le poids 2Q.

En vertu des hypothèses admises en mécanique rationnelle, nous supposerons qu'après le choc, le système a repris sensiblement la forme géométrique qu'il avait aupa-

ravant; d'où l'on déduit comme conséquence que la tension des cordes n'a pas changé; nous ne tiendrons pas compte de la *vitesse de renvoi*, le plus ordinairement très-faible, et détruite au bout d'un temps très-court par quelques chocs secondaires.

De sorte que, en définitive, nous supposerons que la vitesse du marteau est nulle après le choc, que cette pièce ne tend à se remettre en mouvement que lorsque les tensions des cordes arrivent à faire équilibre à 2Q.

Soient φ_0 la valeur de φ correspondant à l'instant où le marteau tend à se relever;

x_0 la distance OF à cet instant, qui est une donnée de la question.

Comme on a $\frac{d^2x}{dt^2} = 0$ au même instant, l'équation (5) donne:

$$x_0 = \frac{Qh}{s^2} + a + v\cos\varphi_0; \tag{7}$$

d'où l'on déduira φ_0, que l'on peut maintenant considérer au lieu de x_0 comme une donnée de la question.

Des équations (6), on déduit par suite:

$$\left\{\begin{aligned} \frac{-r\cos\varphi_0}{m^2-1} &= \mathrm{M}\sin m\varphi_0 + \mathrm{N}\cos m\varphi_0, \\ \frac{mr\sin\varphi_0}{m^2-1} &= \mathrm{M}\cos m\varphi_0 - \mathrm{N}\sin m\varphi_0; \end{aligned}\right. \tag{8}$$

d'où

$$\left\{\begin{aligned} \mathrm{M} &= \frac{r}{m^2-1}(-\cos\varphi_0\sin m\varphi_0 + m\sin\varphi_0\cos\varphi_0), \\ \mathrm{N} &= \frac{-r}{m^2-1}(\cos\varphi_0\cos m\varphi_0 + m\sin\varphi_0\sin m\varphi_0). \end{aligned}\right. \tag{9}$$

Le choc suivant correspondra à la racine φ_1 immédiatement supérieure à φ_0 de l'équation

$$\begin{aligned} m^2\cos\varphi_1 - \cos\varphi_0\cos m(\varphi_1-\varphi_0) + m\sin\varphi_0\sin m(\varphi_1-\varphi_0) - \\ -(m^2-1)\cos\varphi_0 = 0, \end{aligned} \tag{10}$$

et l'on aura pour déterminer la vitesse correspondante :

$$V_1 = -\frac{m^2\omega r}{m^2-1}\sin\varphi_1 + m\omega\,(M\cos\varphi_1 - N\sin m\varphi_1),$$

d'où

$$(11)\quad \frac{V_1(m^2-1)}{m\omega r} = -m\sin\varphi_1 + \cos\varphi_0\sin m(\varphi_1-\varphi_0) + \\ + m\sin\varphi_0\cos m(\varphi_1-\varphi_0).$$

Pour $\varphi_1 = \varphi_0$, $\dfrac{dV_1}{d\varphi_1} = 0$, $\dfrac{d^2V_1}{d\varphi_1^2} = -m(m^2-1)\sin\varphi_0$.

Si donc $\sin\varphi_0 > 0$, $m > 1$ comme nous le supposerons, le premier membre de l'équation (10) est d'abord négatif, quand on fait croître φ_1 à partir de φ_0.

APPLICATIONS NUMÉRIQUES.

Supposons que l'on ait :

$$\frac{\rho_0 u_1}{\varepsilon} = 0{,}0135,$$

chiffre qui résulte de l'étude du ressort du martinet de l'usine de M. Gautier (*), nous aurons

$$m^2 = \frac{726}{\omega^2}.$$

et selon que la manivelle fera 2, 2 1/2, 3 tours par seconde,

$$m^2 = 4.60,\quad m^2 = 2.90,\quad m^2 = 2.04;$$

d'où

$$m = 2.15,\quad m = 1.70,\quad m = 1.43.$$

(*) Voir l'application numérique de la note placée à la fin du mémoire.

En supposant $m = 1,5$, $\varphi_0 = 20°$, l'équation (10) donne à très-peu près :

$$\varphi_1 = 301°,30',$$

et l'équation (11) :

$$\frac{V}{\omega r} = 2.82;$$

c'est-à-dire que la vitesse du marteau lors du choc est près de trois fois plus considérable que celle que posséderait le marteau s'il était relié invariablement à la bielle.

Soient $2r = 0,60$, $2,3/4$ le nombre de tours de la manivelle par seconde, on trouve :

$$\omega r = 5,18$$

et

$$V = 14^{m},61.$$

Le marteau pesant 65 kilogrammes, sa demi-force vive acquise est de 715 kilogrammètres, c'est-à-dire qu'il produit le même effet mécanique, sous toute réserve des différences dans l'application qu'un marteau de 715 kilogrammes tombant d'un mètre de hauteur.

APPENDICE.

DE L'ÉQUILIBRE D'ÉLASTICITÉ D'UN RESSORT CIRCULAIRE A LAMES INTÉRIEURES ÉTAGÉES.

Soient (*fig.* 22) :

$M_1 N_1 M'_1$ la maîtresse lame;

$M_2 N_2 M'_2$ la seconde;

. . . .

$M_n N_n M'_n$ la dernière;

O le centre du ressort non déformé;

N_1 le milieu de la maîtresse lame.

Nous supposerons : 1° que le ressort n'est sollicité que par deux systèmes de forces identiques agissant aux extrémités M_1, M'_1 de la maîtresse lame; chacun de ces systèmes se compose d'une force Q parallèle à ON_1 mais dirigée dans le sens du prolongement de ce rayon, et d'une force $Q \tang \alpha$, α étant une constante, dirigée suivant la perpendiculaire abaissée de M_1 ou M'_1 sur ON_1; 2° que les deux gradins formés par chaque lame à ses extrémités sont égaux. Chaque lame déformée sera ainsi symétrique, par rapport à ON_1.

Soient :

e l'épaisseur des lames;

ρ_0 le rayon de la fibre moyenne de la maîtresse lame non déformée;

ρ le rayon de courbure de la fibre déformée en un point *m*, défini par l'angle polaire $\theta = \widehat{N_1Om}$;

$\mathfrak{M}$ le moment des forces agissant à l'extrémité M_1 de la moitié de la maîtresse lame, à laquelle appartient *m*;

E le coefficient d'élasticité de l'acier;

I le moment d'inertie de la section normale à chaque lame, par rapport à la perpendiculaire au plan de la figure, passant par son centre de gravité.

Si l'on considère une section normale passant en un point

du gradin de la première lame, on reconnaît, en suivant la marche indiquée par M. Phillips, que

$$EI\left[\frac{i}{\rho}+\frac{i}{\rho-e}\cdots+\frac{1}{\rho-(i-1)e}-\left(\frac{i}{\rho_0}+\frac{1}{\rho_0-e}\cdots+\frac{1}{\rho_0(i-1)e}\right)\right]=\mathfrak{M},$$

ou, en négligeant le quarré de la fraction $\frac{ie}{\rho}$, qui est toujours petite :

$$EI\left[\frac{1}{\rho}\left(1+\frac{e}{\rho}\cdots+\frac{i-1}{\rho}e\right)-\frac{1}{\rho_0}\left(i+\frac{e}{\rho_0}\cdots+\frac{i-1}{\rho_0}\right)\right]=\mathfrak{M}.$$

Comme nous n'avons en vue que de faibles déformations, nous pourrons, sans grande erreur, remplacer dans le coefficient de $\frac{1}{\rho}$, $\frac{ie}{\rho}$ par $\frac{ie}{\rho_0}$, de sorte qu'en posant :

$$(1)\qquad J_i=I\left[i+\frac{e}{\rho_0}\,\frac{i(i-1)}{2}\right],$$

on a :

$$EJ_i\left(\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_0}\right)=\mathfrak{M}.$$

Soient θ_1, θ_2,... θ_{n-1}, θ_n les valeurs de θ correspondant aux extrémités des lames successives, à partir de la maîtresse lame. On voit que

$$(2)\qquad \mathfrak{M}=Q\rho_0[\sin\theta_1-\sin\theta+\operatorname{tang}\alpha(\cos\theta-\cos\theta_1)]=$$
$$=\frac{Q\rho_0}{\cos\alpha}[\sin(\theta_1-\alpha)-\sin(\theta-\alpha)].$$

D'autre part, en posant :

$$\rho=\rho_0(1+u).$$

u étant, ainsi que les dérivées par rapport à θ, des quantités

assez petites pour que l'on puisse en négliger les puissances supérieures à la première, on a :

$$\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_0}=-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{d^2u}{d\theta^2}+u\right).$$

Il vient donc :

$$(3) \qquad \frac{d^2u}{d\theta^2}+u=\frac{K}{J_i}[\sin(\theta-\alpha)-\sin(\theta_1-\alpha)],$$

en posant pour abréger :

$$(4) \qquad k=\frac{Q\rho_0^2}{E\cos\alpha}.$$

L'équation (3) a pour intégrale :

$$(5) \quad u=-\frac{k}{2}\left(\frac{(\theta-\alpha)\cos(\theta-\alpha)+2\sin(\theta_1-\alpha)}{J_i}+M_i\cos\theta+N_i\sin\theta\right).$$

M_i et N_i étant deux constantes arbitraires.

On déduit de là :

$$(6) \quad \frac{du}{d\theta}=-\frac{k}{2}\left(\frac{\cos(\theta-\alpha)-(\theta-\alpha)\sin(\theta-\alpha)}{J_i}-M_i\sin\theta+N_i\cos\theta\right).$$

Les constantes M_i et N_i ne peuvent se déterminer que successivement, à partir de $i=n$, valeur pour laquelle $u=0$, $\frac{du}{d\theta}=0$, cette dernière condition exprimant que ON_1 est normal aux lames.

Soient u_i et w_i les valeurs de u et $\frac{du}{d\theta}$ correspondant à θ_i, on a :

$$u_i=-\frac{k}{2}\left(\frac{(\theta_i-\alpha)\cos(\theta_i-\alpha)+2\sin(\theta_1-\alpha)}{J_i}+M_i\cos\theta_i+N_i\sin\theta_i\right),$$

$$w_i=-\frac{k}{2}\left(\frac{\cos(\theta_i-\alpha)-(\theta_i-\alpha)\sin(\theta_i-\alpha)}{J_i}-M_i\sin\theta_i+N_i\cos\theta_i\right).$$

Mais on doit obtenir les mêmes valeurs en remplaçant dans les équations (5) et (6) i par $i-1$, θ par θ_i.

Il vient donc :

$$M_{i-1}\cos\theta_i + N_{i-1}\sin\theta_i = \left(\frac{1}{J_i}-\frac{1}{J_{i-1}}\right)[(\theta_i-\alpha)\cos(\theta_i-\alpha)+ \\ + 2\sin(\theta_i-\alpha)] + M_i\cos\theta_i + N_i\sin\theta_i.$$

$$-M_{i-1}\sin\theta_i + N_{i-1}\cos_{i-1} = \left(\frac{1}{J_i}-\frac{1}{J_{i-1}}\right)[\cos(\theta_i-\alpha)- \\ -(\theta_i-\alpha)\sin(\theta_i-\alpha)] - M_i\sin\theta_i + N_i\cos\theta_i;$$

d'où

$$(7)\begin{cases} M_{i-1} = M_i + \left(\frac{1}{J_i}-\frac{1}{J_{i-1}}\right)[(\theta_i-\alpha)\cos\alpha - \cos(\theta_i-\alpha)\sin\theta_i + \\ \qquad + 2\sin(\theta_i-\alpha)\cos\theta_i], \\ N_{i-1} = N_i + \left(\frac{1}{J_i}-\frac{1}{J_{i-1}}\right)[(\theta_i-\alpha)\sin\alpha + \cos(\theta_i-\alpha)\cos\theta_i + \\ \qquad + 2\sin(\theta_i-\alpha)\sin\theta_i]. \end{cases}$$

On a :

$$\frac{1}{J_i}-\frac{1}{J_{i-1}} = -\frac{1+\frac{1}{2}\frac{e}{\rho_0}}{Ii(i-1)}.$$

Mais on peut négliger sans inconvénient, devant l'unité, la fraction $\frac{1}{2}\frac{e}{\rho_0}$; de sorte que l'on a tout simplement :

$$\frac{1}{J_i}-\frac{1}{J_{i-1}} = -\frac{1}{Ii(i-1)}.$$

Les équations (7) peuvent donc se mettre sous la forme

$$(7')\begin{cases} M_{i-1} = M_i - \frac{1}{Ii(i-1)}[(\theta_i-\alpha)\sin\alpha + \cos(\theta_i-\alpha)\sin\theta_i + \\ \qquad + 2\sin(\theta_i-\alpha)\cos\theta_i], \\ N_{i-1} = N_i - \frac{1}{Ii(i-1)}[(\theta_i-\alpha)\sin\alpha + \cos(\theta_i-\alpha)\cos\theta_i + \\ \qquad + 2\sin(\theta_i-\alpha)\sin\theta_i]; \end{cases}$$

d'où

$$(7')\begin{cases} M_1 = M_n - \frac{1}{I}\sum_n^2 \frac{1}{i(i-1)}[(\theta_i-\alpha)\cos\alpha - \cos(\theta_i-\alpha)\sin\theta_i + \\ \qquad + 2\sin(\theta_1-\alpha)\cos\theta_i], \\ N_1 = M_n - \frac{1}{I}\sum_n^2 \frac{1}{i(i-1)}[(\theta_i-\alpha)\sin\alpha + \cos(\theta_i-\alpha)\cos\theta_i + \\ \qquad + 2\sin(\theta_1-\alpha)\sin\theta_i]. \end{cases}$$

En faisant dans les équations (5) et (6) :

$$u = 0, \quad \frac{du}{d\theta} = 0, \quad \theta = 0, \quad i = n,$$

on a

$$(8) \qquad M_n = \frac{\alpha\cos\alpha - 2\sin(\theta_1-\alpha)}{J_n}, \quad N_n = \frac{\alpha\sin\alpha - \cos\alpha}{J_n},$$

et les formules (7′) et (7″) permettront de calculer successivement les valeurs des coefficients M_i et N_i, et enfin la valeur u_1 de u, correspondant au point M_1 ou à $\theta = \theta_1$.

Il nous reste maintenant à déterminer la variation $\delta\theta$, éprouvée par l'inclinaison sur ON_i, du rayon vecteur Om, par suite de la déformation. Si l'on néglige les dilatations longitudinales des lames, il nous suffira d'exprimer que l'élément d'arc n'a pas varié de longueur, ou que

$$\rho_0 d\theta = \sqrt{\rho_0^2(1+u)^2 d(\theta+\delta\theta)^2 + \rho_0^2\frac{du^2}{d\theta^2}};$$

d'où, en vertu du mode d'approximation adopté :

$$(9) \qquad \frac{d\delta\theta}{d\theta} = -u.$$

Pour la section passant par l'extrémité de la n^e lame on a :

$$\delta\theta_n = -\int_0^{\theta_n} u d\theta;$$

pour la section correspondant à l'extrémité de la $n = 1^e$ lame :

$$\delta\theta_{n-1} - \delta\theta_n = -\int_{\theta_n}^{\theta_{n-1}} u d\theta,$$

et ainsi de suite ; enfin on voit que

$$(10) \qquad \delta\theta_1 = -\int_0^{\theta_n} u d\theta - \int_{\theta_n}^{\theta_{n-1}} u d\theta \ldots\ldots - \int_{\theta_2}^{\theta_1} u d\theta,$$

et l'on a en général :

$$\int u d\theta = -\frac{k}{2}\left[\frac{(\theta-\alpha)\sin(\theta-\alpha)+\cos(\theta-\alpha)}{J_i} + M_i \sin\theta - N_i \cos\theta + \right.$$
$$\left. + \frac{2\sin(\theta_1-\alpha)\theta}{J_i} + \text{const.}\right].$$

Nous pouvons donc considérer le problème comme étant complétement résolu.

Examen d'un cas particulier. — Supposons que le ressort soit demi-circulaire, ou que $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$; que $\alpha = \frac{\pi}{2} - \varepsilon$, ε étant un petit angle dont on peut négliger le quarré. Les équations (7″) deviennent :

$$(7''')\left\{\begin{aligned} M_{i-1} &= M_i + \frac{1}{Ii(i-1)}\left[\frac{1-\cos 2\theta_i}{2} + \varepsilon\left(\frac{\pi}{2} - \theta_i + \right.\right. \\ &\qquad \left.\left. + \frac{\sin i\theta_i}{2} - 2\cos\theta_i\right)\right], \\ N_{i-1} &= N_i + \frac{1}{Ii(i-1)}\left\{\frac{\pi}{2} - \theta_i - \frac{\sin 2\theta_i}{2} - \varepsilon\left[\frac{1+\cos 2\theta_i}{2} + \right.\right. \\ &\qquad \left.\left. + 1 + 2\sin\theta_i\right]\right\} \end{aligned}\right.$$

et les formules (8) :

$$(8'')\qquad \left\{ \begin{aligned} M_n &= \frac{\pi}{2}\cdot\frac{\varepsilon}{J_n},\\ N_n &= \frac{\frac{\pi}{2}-\varepsilon}{J_n}. \end{aligned} \right.$$

Application numérique (ressort du martinet américain des ateliers de M. Gautier).

Le ressort a six lames ; la seconde lame est en contact avec la maîtresse lame sur toute l'étendue de la demi-circonférence ; les retraites de la troisième lame sur la seconde, de la quatrième sur la troisième, de la cinquième sur la quatrième, sont environ de 15°, de sorte que l'on a :

$$\theta_6 = 30^\circ, \quad \theta_5 = 45^\circ, \quad \theta_4 = 60^\circ, \quad \theta_3 = 75^\circ, \quad \theta_2 = 90^\circ.$$

Nous admettrons de plus que $\varepsilon = 20^\circ$.

En faisant l'application des formules $(7''')$, on trouve :

$$M_5 = M_6 + \frac{0{,}005}{I}, \quad N_5 = N_6 - \frac{0{,}011}{I},$$

$$M_4 = M_5 + \frac{0{,}022}{I}, \quad N_4 = N_5 - \frac{0{,}036}{I},$$

$$M_3 = M_4 + \frac{0{,}061}{I}, \quad N_3 = N_4 - \frac{0{,}047}{I},$$

$$M_2 = M_3 + \frac{0{,}155}{I}, \quad N_2 = N_3 - \frac{0{,}173}{I}.$$

d'où

$$M_2 = M_6 + \frac{0{,}243}{I}, \qquad N_2 = N_6 - \frac{0{,}267}{I};$$

Si l'on remarque que

$$\frac{1}{J_6} = \frac{1}{I\left(6 + 15\frac{e}{\rho_0}\right)} = \frac{1}{6I}\left[1 - 2{,}5\frac{e}{\rho_0}\right],$$

les équations (8''') donnent :

$$M_6 = \frac{0,092}{I}\left(1 - 2,5\frac{e}{\rho_0}\right), \quad N_6 = \frac{0,204}{I}\left(1 - 2,5\frac{e}{\rho_0}\right);$$

d'où

$$N_2 = -\frac{0,063}{I} - 0,5\frac{e}{\rho_0 I}.$$

Nous obtiendrons $u_2 = u_1$, en supposant $i = 2$ et $\theta = \frac{\pi}{2}$, dans les équations (5), ce qui donne :

$$u_1 = -\frac{k}{2I}\left(3\varepsilon\frac{I}{J_2} + N_2\right) = -\frac{k}{2I}\left(0,510 - 0,07\frac{e}{\rho_0}\right),$$

ou tout simplement, comme $\frac{e}{\rho_0}$ est très-petit et qu'il est affecté d'un faible coefficient :

$$u_1 = -0,510\frac{Q\rho_0^2}{2EI\varepsilon}.$$

L'expression qui joue le rôle important dans l'équation du mouvement du martinet américain est la suivante :

$$\frac{\rho_0 u_1}{\varepsilon} = -0,510 . \frac{Q\rho_0^3}{2EI\varepsilon^2}.$$

Soient :

$$\left.\begin{array}{l} Q = 32.5^{\text{kil}} \\ \rho_0 = 0,30 \\ e = 0,01 \\ E = 2.10^{10} \\ \varepsilon = 20° = 0,349 \end{array}\right\} \text{la largeur de la lame étant supposée égale à 0,08.}$$

On trouve

$$\frac{\rho_0 u_1}{\varepsilon} = 0,0135.$$

Du travail emmagasiné par un ressort. — Revenons aux généralités. Soient :

$$N \quad \frac{Q}{\cos\alpha}\cos(\alpha+\theta_1),$$

$$T = \frac{Q}{\cos\alpha}\sin(\alpha+\theta_1).$$

Les composantes de la force qui sollicite chacun des points M_1, M'_1, suivant le rayon et la tangente.

D'après ce qui précède, on voit que l'on peut écrire :

$$u_1 = \frac{1}{\mu}N,$$

$$\delta\theta_1 = \frac{1}{\nu}T,$$

μ et ν étant des coefficients que nous savons déterminer ; d'où

$$N = \mu u_1,$$
$$T = \nu\delta\theta_1.$$

Le travail nécessaire pour produire une déformation déterminée sera :

$$2\rho_0\int N du_1 + 2\rho_0\int T d\delta\theta_1 = \rho_0(u^2_1 + \nu\delta\theta_1{}^2)]$$

u_1, $\delta\theta_1$ sont d'ailleurs liés entre eux par une relation de la forme $\frac{\delta\theta_1}{u} = \gamma$, γ étant une constante. On aura donc pour le travail :

$$\rho_0(\mu + \gamma^2\nu)u^2_1.$$

Supposons que les deux extrémités du ressort soient, par rapport à ON_1, symétriquement choqués en M_1, M'_1 par deux masses égales M, avec la vitesse V_1 le déplacement suivant produit par le choc sera donné par

$$MV^2 = \rho_0(\mu + \gamma^2\nu)u^2_1.$$

Il y aurait ensuite à établir les formules du mouvement oscillatoire qui succède au choc.

Le problème ne présente aucune difficulté lorsqu'on fait abstraction de l'inertie du ressort, mais dépend, dans le cas contraire, d'une équation aux différentielles partielles.

EXTRAIT DES TRAVAUX

EXÉCUTÉS AU LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL DE CHIMIE DE MÉZIÈRES.

(ANNÉES 1869 ET 1870.)

Par MM. E. NIVOIT, ingénieur des mines,
et E. LÉTRANGE, ingénieur civil.

ANALYSES.

1° MINERAI DE FER DES MARQUISADES.

On a découvert récemment dans la forêt des Marquisades (commune d'Auchamps) un gisement de minerai de fer qui se trouve dans les mêmes conditions géologiques que celui de Revin, dont nous avons donné une courte description dans les *Annales des mines* (tome XVIII, page 111).

Ce minerai est un mélange de peroxyde de fer et de nombreux fragments schisteux ou quartzeux provenant du terrain révinien. Mais ici les fragments sont beaucoup plus petits qu'à Revin, et le minerai a une apparence assez homogène.

On peut distinguer deux variétés principales, la *mine rouge* et la *mine jaune*. La première variété contient à la fois de l'hématite rouge et de la limonite ; car l'analyse montre que l'eau combinée n'est pas en assez forte proportion pour que tout l'oxyde de fer soit à l'état d'hydrate. Elle est incomplétement attaquable par les acides, et, pour l'analyser, nous avons dû la réduire préalablement par un courant d'hydrogène. Nous avons trouvé pour cette variété la composition suivante :

Eau hygrométrique		1,10
Eau combinée		4,50
Acide sulfurique		0,34
Peroxyde de fer		44,75
Gangue, 48,91.	Silice	47,98
	Alumine	0,11
	Protoxyde de fer	0,82
	Chaux	traces
Perte		0,40
		100,00

Soit 31,35 p. 100 de fer métallique.

La mine jaune est entièrement attaquable par les acides, toutefois avec difficulté. Voici quelle en est la composition :

Eau hygrométrique	2,00
Eau combinée	6,00
Acide sulfurique	0,34
Peroxyde de fer	31,46
Silice	60,00
Alumine	0,20
Chaux	traces
	100,00

Soit 22,02 p. 100 de fer métallique.

Les alcalis n'ont pas été recherchés dans la gangue.

Nous n'avons pas constaté de traces d'acide phosphorique ni de manganèse. Nous n'avons pas trouvé non plus de pyrite de fer ; il est très-probable que ces matières, qui accompagnent presque toujours les schistes réviniens, se sont transformés complétement en sulfates de fer et d'alumine.

Comme on voit, les minerais des Marquisades ne sont pas riches ; ils sont d'une fusion difficile, puisqu'ils sont très-silicieux ; enfin ils ne peuvent donner que des fers rouverains, car l'acide sulfurique qu'ils contiennent correspond à une teneur de 4 à 6 millièmes de soufre pour une partie de fer, et l'on sait qu'il n'en faut pas davantage pour rendre le fer cassant à chaud.

La proximité des hauts fourneaux de Vireux explique seule l'avantage qu'il peut y avoir à exploiter ces minerais ; mais il faut éviter d'en mettre une très-grande proportion dans les charges.

2° Minerai de fer de Bayonville.

Il existe, au milieu des marnes grises compactes de la partie supérieure du calcaire à astartes des Ardennes, quelques géodes de peroxyde de fer hydraté à noyau argileux. Voici quelle est la composition d'un échantillon de ce minerai recueilli dans les environs de Bayonville, où les marnes acquièrent une assez grande épaisseur :

Eau hygrométrique	3,75
Perte par calcination	14,00
Silice	11,42
Alumine	0,41
Peroxyde de fer	64,20
Chaux	5,00
Magnésie	1,08
Acide sulfurique	0,14
	100,00

Cette analyse n'a d'intérêt qu'au point de vue géologique, car les géodes ne sont pas en assez grande quantité pour donner lieu à une exploitation avantageuse.

3° Minerai de fer d'Ancerville.

Dans le sud des arrondissements de Bar-le-Duc et de Commercy, le terrain néocomien contient à sa partie inférieure un gisement de minerai de fer géodique, qui a été décrit par M. Buvignier, dans la *Statistique géologique du département de la Meuse*. Tantôt le minerai repose directement sur les assises supérieures du terrain portlandien ; tantôt il en est séparé par une couche mince de marne de couleur noirâtre ou gris foncé.

Depuis très-longtemps on exploite ce gisement dans plusieurs localités par travaux à ciel ouvert. Ce n'est qu'en 1865 qu'on a commencé à l'exploiter souterrainement sur le territoire de la commune d'Ancerville pour les hauts fourneaux des environs de Saint-Dizier.

A Ancerville, la couche n'a pas une épaisseur régulière. Le calcaire portlandien y est très-raviné, et c'est dans les cavités produites par ces ondulations que s'est déposé le minerai. Le mur de la couche est ainsi très-accidenté ; quant au toit, il est d'une régularité parfaite. Voici quelles sont les roches que l'on traverse dans les puits d'extraction :

	mèt.		mèt.
Argile ostréenne avec lits minces de calcaire marneux. . .	0,20	à	0,25
Calcaire néocomien avec spatangues et grandes huîtres. .	2,80	à	3,00
Minerai géodique dont l'épaisseur peut atteindre.	5,00	à	6,00
Marne noire ou grise manquant quelquefois.	0,20	à	0,60

Calcaire portlandien. — Le minerai se présente sous des aspects très-divers. On observe surtout :

1° De la limonite en grains oolithiques, de nuance jaunâtre ou verdâtre, agglutinés par un ciment argileux ou siliceux, et traversés par des veinules d'oxyde brun compacte ;

2° Des plaquettes compactes très-dures de minerai brun ;

3° Du fer carbonaté lithoïde ou terreux, de nuance grisâtre, ressemblant assez à certains calcaires argileux ; quelquefois il est coloré en noir foncé par des matières organiques. Le minerai terreux devient assez rapidement rouge par l'exposition à l'air ; souvent les ouvriers le rejettent à cause de sa faible densité ;

4° Des géodes ou boîtes creuses, de volume souvent considérable, dont l'intérieur est rempli par du sable, de l'argile, du mine-

rai oolithique ou du fer carbonaté. Quelquefois, mais cela est rare, les géodes sont vides ou renferment de l'eau ;

5° Des nodules à couches concentriques de dureté et de nature différentes ;

8° De l'hématite rouge fossilifère.

Quant au mode d'arrangement de ces diverses espèces de minerai dans le gisement, voici en général ce que l'on remarque :

Sur la marne, qui contient fréquemment des lignites, on trouve le fer carbonaté terreux. Au-dessous viennent deux couches de marne alternant avec deux couches de minerai en plaquettes agglutinées, accompagné d'un peu de fer carbonaté lithoïde. Enfin à la partie supérieure on rencontre le minerai en géode et en nodules avec le minerai oolithique.

L'hématite est la variété la moins commune, et elle n'existe pas partout ; elle se trouve tantôt à la base, tantôt à la partie supérieure du gisement. Elle paraît avoir été formée aux dépens du calcaire encaissant, par substitution partielle de l'oxyde de fer au carbonate de chaux, molécule à molécule. Elle contient encore des empreintes de fossiles dans le vide desquelles on remarque de petites pointes cristallines.

Le minerai carbonaté n'existe pas dans toutes les exploitations. Il manque surtout dans les parties où le gisement repose directement sur les couches portlandiennes, sans intermédiaire de marne.

Dans plusieurs minières, on rencontre, vers le milieu de la couche, un banc dur très-gypseux. Les ouvriers séparent avec soin les morceaux de minerai qui proviennent de ce banc.

Nous avons déterminé la composition chimique du minerai oolithique (1), de l'hématite rouge (2) et du fer carbonaté (3). Nous avons obtenu les résultats suivants :

	1	2	3
Eau hygrométrique	1,80	2,87	0,50
Perte par calcination	15,80	16,58	35,06
Quartz	3,75	0,25	5,55
Argile. { Silice	3,25	»	1,55
Argile. { Alumine	2,76	»	1,32
Protoxyde de fer	»	»	47,57
Peroxyde de fer	72,08	72,60	0,29
Chaux	0,20	7,00	7,11
Magnésie	»	0,39	»
Acide sulfurique	0,17	0,09	0,95
Acide phosphorique	0,07	0,22	0,10
Perte	0,12	»	»
	100,00	100,00	100,00
Soit, en fer métallique	50,45	50,82	37,20

Ces analyses montrent que le minerai d'Ancerville est généralement riche et d'assez bonne qualité, sauf la variété lithoïde. Aussi l'exploitation de ce gisement a pris des développements notables ; elle produit annuellement environ 10.000 mètres cubes de minerai bon à fondre.

Le même gisement est exploité tout près d'Ancerville, à Bettancourt (Haute-Marne) ; mais le minerai y est de moins bonne qualité, car il est mélangé d'une assez forte proportion de gypse et d'un peu de célestine.

De la présence dans le gisement d'Ancerville de minerai carbonaté à la base, de fer géodique et d'oolithes ferrugineuses dans la partie supérieure et d'hématite rouge fossilifère en différents points, on peut conclure que ce gisement a été déposé par des sources boueuses et acides qui ont corrodé en même temps les calcaires sur lesquels elles ruisselaient. C'est ainsi que M. Meugy explique la formation de dépôts analogues dans l'arrondissement d'Avesnes.

4° Minerai de fer de Cernion.

Les seuls gisements qui fournissent du minerai de fer de qualité passable dans le département des Ardennes, sont ceux qui se trouvent dans des cavités du terrain jurassique. Ces cavités sont de forme irrégulière et de dimensions très-variables ; elles sont disposées un peu au hasard ; cependant on peut dire qu'on ne les rencontre que dans l'oolithe inférieure et la grande oolithe et qu'elles sont alignées en grand suivant la direction N.-O.-S.-E., qui est à peu près celle des couches. On a remarqué de plus qu'elles sont presque toujours situées sur de petits monticules ou sur les plateaux, presque jamais dans le fond des vallons, et que dans leur voisinage le sol est plus argileux et moins recouvert qu'ailleurs de fragments calcaires. Telles sont les seules indications que l'on puisse donner pour la recherche de ces gisements, dont la découverte est d'un grand intérêt pour la fabrication du fer de bonne qualité.

L'exploitation de ces gisements, qui a été assez active à diverses époques, était abandonnée depuis plusieurs années, par suite de l'extinction de presque tous les hauts fourneaux au charbon de bois du département des Ardennes. Les propriétaires des usines de Vireux, dans le but d'améliorer la qualité du lit de fusion de leurs hauts fourneaux au coke, viennent de mettre en exploitation plusieurs roches de minerai situées sur le territoire de la com-

mune de Cernion. On en connaît un grand nombre d'autres dans les environs, à Rouvroy, Logny, Le Cerleau, Havy, Flaigner-les-Oliviers, Foulzy, Fontenelle, etc.

Les cavités qui renferment le minerai de Cernion se trouvent dans un calcaire blanc oolithique, assez friable, employé comme amendement sous le nom de *castine* par les cultivateurs des environs. Le minerai y existe en fragments ou morceaux de toutes dimensions, souvent aussi gros que la tête; ces fragments sont quelquefois entourés d'une argile blanche que les ouvriers appellent *nourriture de la mine*; ils sont disséminés irrégulièrement dans de l'argile, de la marne ou une terre ocreuse. A la partie supérieure du gisement, on trouve fréquemment une sorte de grès à grains de quartz et à ciment ferrugineux, appelé *sole* par les ouvriers, et qui peut mettre sur la trace des dépôts de minerai. L'argile ocreuse paraît aussi se trouver de préférence dans la partie supérieure.

L'analyse de deux échantillons, l'un de minerai riche (1), l'autre de grès ferrugineux (2), nous a fourni les résultats suivants :

		1	2
Perte par calcination		17,10	4,00
Quartz		4,68	72,04
Argile.	Silice	3,19	3,46
	Alumine	1,60	1,40
Peroxyde de fer		72,42	18,40
Chaux		0,40	0,20
Magnésie		0,05	»
Acide sulfurique		traces	0,08
		99,44	99,58
Soit, en fer métallique		50,70	12,90

On n'a constaté que de faibles traces d'acide phosphorique dans l'échantillon n° 1; on n'a pas trouvé de manganèse.

Il est digne de remarque que, dans la plupart des gisements de qualité médiocre du département des Ardennes (comme ceux de la base de l'oxford-clay, de l'oolithe ferrugineuse à la partie supérieure du même étage et des sables verts), le manganèse accompagne le phosphore; c'est un fait qui ressort des analyses données par M. Sauvage dans la *Statistique minéralogique et géologique du département des Ardennes.*

Quant au soufre, il est en quantité trop faible pour influer d'une manière fâcheuse sur la qualité du minerai.

Nous avons aussi analysé l'argile ocreuse, qui est employée par un fabricant de couleurs, à Pris (près Mézières), pour la préparation de l'ocre rouge. Elle est très-riche en oxyde de fer.

Eau hygrométrique	7,50
Perte à la calcination	11,25
Argile très-sableuse	16,54
Peroxyde de fer	61,78
Chaux	1,20
Acide sulfurique	0,34
	98,61

Le gisement de Cernion doit avoir été exploité à une date très-reculée. Nous avons retrouvé à la surface du sol un four grossièrement construit avec des pierres plates en quartz ite blanchâtre, provenant de l'étage devillien de Rimogne; près du four, la terre était mêlée de fragments de braise et de scories. Ces scories, qui sont noir foncé, très-lourdes, bien homogènes, et sans aucun mélange de grenailles ou d'aucune autre matière étrangère, sont fondues avec le minerai dans les hauts fourneaux de Vireux. Elles ont présenté la composition suivante :

Silice	20,47
Acide sulfurique	0,09
Acide phosphorique	0,42
Alumine	1,50
Chaux	2,25
Protoxyde de fer	74,26
	98,99
Teneur en fer métallique	57,85

Il est probable que ces scories sont le résidu d'un traitement métallurgique analogue à celui que l'on pratique dans la méthode catalane. C'est du moins ce que l'on pourrait conclure de la proportion relativement assez forte d'acide phosphorique que l'on y constate, car on sait que dans la méthode catalane, la réduction se fait à basse température, et que la plus grande partie de l'acide phosphorique et de l'acide sulfurique passe dans les scories sans être réduite.

L'époque géologique des minerais que nous venons de décrire est difficile à assigner. Toutefois nous sommes portés à croire qu'ils sont *tertiaires*, à cause de leur grande analogie avec les minerais de cette époque que l'on observe dans la Moselle et la Haute-Saône, et à cause de leur situation sur des points assez élevés. Mais ils ont dû être remaniés à l'époque diluvienne, car ils sont quelquefois mêlés de cailloux roulés.

5° Calcaire jaunatre des sables verts.

Ce calcaire, recueilli dans une minière de fer des environs du Grandpré, est en plaquettes jaunâtres, ocreuses; il se trouve à la base du gisement de minerai des sables verts. Les ouvriers lui donnent le nom de *jaunette;* ils le mettent de côté quand ils le rencontrent. C'est à tort, car, quoiqu'il ne soit pas très-riche en fer, il pourrait être avantageusement mélangé au minerai, qui est très-réfractaire, et lui servir de fondant. Voici quelle est sa composition:

Eau hygrométrique	1,00
Eau combinée	2,75
Sable et argile	5,50
Oxyde de fer	15,75
Carbonate de chaux	74,00
Carbonate de magnésie	1,00
	100,00

Ces plaquettes sont sans doute des fragments arrachés au calcaire kimmeridgien sous-jacent, et qui auront été imprégnés d'oxyde de fer lors du dépôt des minerais des sables verts.

6° Scories de Belval.

Dans beaucoup de localités du département des Ardennes, il existe d'énormes tas de scories très-ferrugineuses que l'on utilise quelquefois pour préparer la sole des fours à puddler. Mais toutes ces scories ne conviennent pas également; elles sont même presque toujours assez phosphoreuses ou sulfureuses, et si on les emploie en trop forte proportion dans le puddlage, on risque de diminuer la qualité du fer.

Les fontes que l'on traitait dans les anciens fours d'affinerie des Ardennes étaient généralement de très-médiocre qualité. On parvenait cependant à obtenir des produits passables au moyen d'un artifice qui consistait à saupoudrer le métal de calcaire en poudre fine depuis le moment où il entrait en fusion jusqu'à l'avalage. La chaux faisait passer dans les scories une forte partie du soufre et du phosphore; mais il fallait se garder d'abuser de cette addition de calcaire, car on eût donné au fer un nerf court et sombre. On comprend donc pourquoi les scories dont il est ici question peuvent être très-riches en soufre et en phosphore.

Nous donnons ci-dessous la composition des scories des vieilles forges de Belval (canton de Buzancy). On les emploie dans les fours à puddler de l'usine de Flize :

Eau hygrométrique	4,50
Fragments de charbon, matières organiques, acide carbonique	10,00
Silice	10,00
Acide phosphorique	2,16
Acide sulfurique	0,25
Chaux	5,00
Magnésie	0,50
Alumine	1,40
Oxyde de manganèse	fortes traces
Oxyde de fer (par différence)	66,19
	100,00

L'examen de ces scories fait reconnaître que tout le fer qu'elles contiennent est à l'état de peroxyde, soit libre, soit combiné à la silice. Le fer en grenailles, qui était primitivement mélangé à la masse, s'est peu à peu oxydé sous l'influence des agents extérieurs. Quant au silicate de protoxyde, il a passé à l'état de silicate de peroxyde sous l'action de l'oxygène en excès qui se trouvait dans le four au moment de l'avalage.

7° Minerai de cuivre du pays de Siegen.

Eau hygrométrique		0,10
Quartz		6,60
Pyrite de cuivre, 32,32.	Cuivre	11,56
	Fer	9,93
	Soufre	10,83
Carbonate de fer		60,61
		99,63

Ce minerai est employé dans les usines à cuivre de MM. Estivant frères, près de Givet, pour refondre les scories riches qui proviennent du traitement des minerais de Corocoro. Il convient très-bien pour cet usage, à raison de sa forte teneur en fer.

On sait que dans le pays de Siegen la pyrite de cuivre est en relation avec le fer spathique ; c'est ce qui explique pourquoi nous avons trouvé ce minerai accompagné d'une aussi forte proportion de carbonate de fer.

8° Canon de bronze.

Pièce de 12 fondue à Séville en 1729; elle a été envoyée de l'arsenal de Mézières à Givet, où elle a servi à la fabrication des canons dans le courant de décembre 1870.

Etain	9,53
Plomb	0,57
Fer	0,40
Arsenic	traces
Cuivre (par différence)	89,50
	100,00

9° Cendres du bois de chêne.

Les cendres de bois, que l'agriculture emploie comme engrais, n'ont pas toujours la valeur qu'on est disposé à leur supposer, et, avant de les acheter, il faut avoir soin de s'enquérir de leur origine. C'est ce que montre l'analyse suivante, qui a été faite sur un échantillon provenant de la combustion des résidus de sciage de bois de chêne, et qui avait été abandonné à l'air pendant plusieurs mois. Ces cendres avaient perdu presque tous leurs sels alcalins, enlevés par les eaux pluviales, et en outre elles étaient souillées de matières terreuses.

Matières solubles dans l'eau : 0,86.	Chlore	0,62
	Silice	0,04
	Acide sulfurique	0,05
	Chaux	traces
	Potasse	0,08
	Soude	0,07
Matières insolubles dans l'eau : 99,14	Perte par calcination	29,66
	Argile et sable	16,35
	Silice soluble dans la potasse	6,78
	Acide phosphorique	0,90
	Oxyde de fer et alumine	3,85
	Chaux	39,45
	Magnésie	2,15
		100,00

10° Calcaire marneux de Champigneulles.

Ce calcaire se trouve en lits minces alternant avec des bancs de calcaire dur, à la partie supérieure du calcaire à astartes, dans une grande carrière exploitée près de Champigneulles (canton de Grandpré). Il est de nuance gris pâle, assez friable, et présente la composition suivante :

Eau hygrométrique	2,70
Perte par calcination	29,00
Silice	25,67
Alumine	2,95
Oxyde de fer	4,01
Chaux	35,17
Magnésie	0,10
Perte	0,40
	100,00

Le sable, qui forme la plus grande partie de la silice, est en particules ténues.

D'après cette composition, on voit que ce calcaire conviendrait pour la fabrication du ciment.

11° Marne du Kimmeridge-Clay.

Échantillon de marne gris bleuâtre, pétri de gryphées virgules, alternant avec des bancs de calcaire ; recueilli dans les environs de Grandpré. L'analyse, faite sur la matière tamisée et séparée des gryphées, a donné les résultats suivants :

Eau hygrométrique	5,25
Perte à la calcination	14,50
Argile et sable	61,00
Oxyde de fer	6,50
Chaux	12,00
Acide phosphorique	0,12
Perte	0,63
	100,00

L'acide phosphorique provient sans doute des petits fragments de coquillages intimement mélangés à la masse.

L'agriculture ne tire aucun parti de cette marne, qui cependant pourrait être employée avec avantage sur les terres trop calcaires ou trop sableuses du canton de Grandpré.

12° Argile du Gault.

L'argile du gault des environs du Grandpré est de couleur gris clair, assez plastique, et fait quelquefois effervescence avec les acides. Elle contient presque toujours de nombreux restes organisés, et surtout des coquillages en fragments ou en très-petites paillettes, dont le test calcaire a conservé sa teinte nacrée, brillante, à reflets bleuâtres. Elle contient en outre des grains vert

noirâtre de glauconie et des grains anguleux de quartz hyalin. Toutes ces matières sont mises en évidence par la lévigation, et l'on trouve qu'elles entrent dans la constitution de l'argile du gault dans la proportion de 14,60 p. 100. Le reste consiste en argile et en sable quartzeux à éléments microscopiques.

Voici quels sont les résultats de l'analyse chimique de cette argile :

Eau hygrométrique	4,50
Perte par calcination	7,00
Sable quartzeux	27,35
Argile. Silice	31,15
Argile. Alumine	13,50
Oxyde de fer	8,33
Chaux	5,23
Magnésie	1,37
Acide sulfurique	0,10
	98,53

13° MARNE DE SAINT-DENIS.

Les terres de la ferme de Saint-Denis, près du Chesne, sont formées en grande partie par un sable quartzeux à éléments très-fins provenant de la désagrégation de la *gaize* (roche siliceuse du terrain crétacé). Ce sont de très-mauvais sols, qui se tassent par l'effet des pluies et sont facilement emportés par les grands vents.

Heureusement M. Autier, propriétaire de la ferme, a découvert sur son territoire même une marne argileuse résultant du remaniement du calcaire à astartes et formant un dépôt d'épaisseur variable. En l'employant en grande proportion pour l'amendement des terres sableuses, il est parvenu à en modifier la constitution physique.

L'analyse que nous avons faite de cette marne, à la demande de M. Autier, nous a donné pour 100 parties séchées à 100 degrés :

Eau combinée et matières organiques	3,39
Sable et argile	75,83
Argile attaquée par l'acide chlorhydrique. Silice	2,12
Argile attaquée par l'acide chlorhydrique. Alumine	1,06
Peroxyde de fer	4,51
Carbonate de chaux	8,91
Carbonate de magnésie	0,36
Sulfate de chaux	2,38
Acide sulfurique libre	0,15
Acide phosphorique	0,04
Chlore	0,06
	98,81

L'azote, déterminé par combustion de la matière avec la chaux sodée, est dans la proportion de 0,03 p. 100.

Cette marne, en outre de ses effets physiques, a une action chimique due surtout au sulfate de chaux qu'elle renferme. Nous n'avons pas déterminé les alcalis ; ils sont sans doute à l'état de chlorures, mais leur proportion doit être assez faible.

14° Sable réfractaire du Chesne.

On fabrique des briques réfractaires d'assez bonne qualité, dans les environs du Chesne, avec du sable quartzeux mélangé d'un peu d'argile et veiné de quelques taches rouges d'oxyde de fer. La couche exploitée, qui appartient au diluvium, a 1 mètre environ d'épaisseur. Les briques ne sont pas cuites ; elles sont employées à l'état cru,

Voici quelle est la composition du sable du Chesne :

Eau hygrométrique	2,00
Eau combinée	1,50
Silice	88,00
Alumine	1,25
Oxyde de fer	5,25
Chaux	1,00
Perte	1,00
	100,00

La chaux doit être combinée avec la silice, car nous n'avons pas trouvé d'acide carbonique.

On voit que la silice, quand elle est en parcelles très-petites, peut se laisser pétrir et devenir aussi plastique que l'argile.

EXTRAITS DE CHIMIE.

(TRAVAUX DE 1865 A 1871.)

Par M. A. HENRY, ingénieur des mines.

§ I. — TRAVAUX DE CHIMIE PURE.

1. *Sur l'acide azoteux;*

Par M. E. FREMY.

(*Comptes rendus*, t. LXX, p. 61.)

L'acide azoteux présente trois caractères remarquables :

1° L'eau le dédouble en acide azotique et en bioxyde d'azote ;

2° Il agit comme réducteur ou comme oxydant dans plusieurs réactions ;

3° Il peut être lui-même décomposé sous l'influence des corps hydrogénés.

On admet généralement qu'il se dédouble dès qu'il arrive au contact de l'eau ; cette décomposition est représentée par la formule suivante :



$$3AzO^3 + HO = AzO^5 . HO + 2AzO^2.$$

Lorsqu'une faible proportion d'eau vient réagir sur un excès soit d'acide azoteux pur, soit d'acide hypoazotique, soit d'acide azotosulfurique $2SO^3,AzO^3,HO$, on constate qu'il ne se dégage absolument que du bioxyde d'azote.

Les phénomènes ne sont plus les mêmes lorsque l'on fait arriver dans un grand excès d'eau froide de l'acide azoteux pur ou combiné aux acides azotique ou sulfurique. On constate alors que ce corps peut se dissoudre sans éprouver de décomposition. Cette dissolution est assez stable, elle se conserve plusieurs jours à la température ordinaire ; l'ébullition la décompose progressivement en acide azotique et bioxyde d'azote. Elle est beaucoup

plus stable lorsqu'elle est produite avec les combinaisons azotique ou sulfurique que dans le cas de l'acide azoteux pur.

Les corps divisés, tels que le sable, le plâtre et surtout le charbon, décomposent immédiatement cette dissolution en donnant de l'acide azotique et du bioxyde d'azote.

La dissolution dans l'eau de l'acide azoteux pur possède un pouvoir réducteur considérable ; elle décompose à froid le permanganate de potasse et réduit immédiatement le chlorure d'or ; elle décompose immédiatement l'hydrogène sulfuré en donnant un précipité de soufre. Elle déplace le brome et l'iode des bromures et des iodures.

Lorsque l'acide sulfureux réagit à chaud sur l'acide azoteux, il se produit du protoxyde d'azote ; avec l'acide azotosulfurique et à froid, on aurait du bioxyde. Ces réactions pourraient expliquer les pertes de composés nitreux qui ont toujours lieu dans la préparation de l'acide sulfurique dans les chambres de plomb où l'on a déjà signalé la présence du protoxyde d'azote. Du reste, on constate que l'acide azotique lui-même est ramené à chaud à l'état de protoxyde d'azote en présence d'un grand excès d'acide sulfureux. Or, ces circonstances se rencontrent précisément dans les chambres de plomb.

Si l'on fait agir l'hydrogène sur l'acide azotique, il se transforme d'abord en acide azoteux, puis en ammoniaque. On obtient en outre un composé qui réduit le permanganate de potasse en présence d'un grand excès de potasse, ce que ne peuvent faire l'acide azoteux ni les azotites alcalins.

Ce nouveau corps est probablement produit par l'action de l'hydrogène sur l'acide azoteux ou sur les azotites. Tous les autres réducteurs connus, tels que l'acide sulfureux, l'hydrogène sulfuré, les sulfures, les métaux alcalins, le zinc, l'aluminium, le magnésium, etc., en agissant sur l'acide azoteux, produisent le même composé, mais en proportion très-faible.

L'amalgame de sodium le produit au contraire en quantité assez grande. Il se reconnaît aux caractères suivants : il réduit immédiatement et à froid les sels d'or, d'argent et de mercure en précipitant le métal, et les sels de cuivre en donnant de l'hydrate de protoxyde de cuivre ; il décolore le permanganate de potasse, même en présence d'un excès de potasse ; il peut être évaporé à sec dans le vide sans se décomposer et résiste pendant longtemps à l'action de l'ébullition ; l'acide acétique ne le détruit pas, mais il est décomposé par les acides énergiques ; dès qu'on le chauffe avec un excès d'alcali, il se décompose et produit de l'ammo-

niaque et de l'azote accompagné du protoxyde d'azote provenant de la réaction même du sodium sur l'acide azoteux, et qui était resté en dissolution dans la liqueur.

On peut aussi obtenir facilement ce corps de la manière suivante :

On attaque de l'étain par l'acide chlorhydrique concentré, et l'on chauffe ; lorsque le dégagement est bien établi, on ajoute alors de l'acide azoteux, ou même de l'acide azotique. La réaction se produit ; on précipite l'étain par l'ammoniaque dans la liqueur, et l'on évapore à sec dans le vide ; en reprenant le résidu sec par l'alcool absolu, on obtient une dissolution jouissant de toutes les propriétés indiquées plus haut.

L'acide azoteux n'est pas le seul qui puisse produire un composé réducteur tel que celui dont il vient d'être question, par l'action de l'amalgame de sodium. L'acide arsénieux et les arsénites produisent un composé tout aussi actif, mais moins stable. Il réduit à froid le permanganate de potasse, les sels d'or, d'argent, de mercure et de cuivre ; il se dissout dans l'eau, et sa dissolution, tout d'abord incolore brunit en se décomposant et laisse déposer de l'hydrure d'arsenic. Lorsque cet hydrure cesse de se produire, la dissolution a perdu toutes ses propriétés réductrices.

---

2. *Sur une nouvelle méthode de préparation de l'acide azotique anhydre ;*

Par MM. Odet et Vignon.

(*Comptes rendus*, t. LXIX, p. 1142.)

Cette méthode consiste à faire réagir le chlorure d'azotyle (AzO^4Cl) sur l'azotate d'argent bien desséché.

Ce chlorure d'azotyle se prépare lui-même en faisant réagir l'oxychlorure de phosphore sur l'azotate d'argent.

L'appareil employé est le suivant :

Deux tubes en U soudés ensemble, chauffés à 60 degrés, renferment chacun 150 grammes d'azotate d'argent bien desséché ; à la suite du second tube est soudé un tube condensateur, plongeant dans un réfrigérant à 25 degrés au-dessous de 0.

L'oxychlorure de phosphore arrive goutte à goutte, versé par un flacon de Mariotte, dans le premier tube en U ; il réagit par l'azotate d'argent, et produit du phosphate d'argent et du chlorure d'azotyle :



$$3(AgO \,.\, AzO^5) + PhO^2Cl^3 = (3AgO), PhO^5 + 3AzO^4Cl.$$

Les vapeurs de chlorure d'azotyle se rendent dans le second tube et produisent du chlorure d'argent qui reste, et de l'acide azotique anhydre qui va se condenser dans le tube refroidi :

$$AgO . AzO^5 + AzO^4Cl = AgCl + 2AzO^5.$$



3. *Sur la solubilité du soufre dans les huiles de houille* ;
Par M. EUGÈNE PELOUZE.

(*Comptes rendus*, t. LXVIII, p. 1179; t. LXIX, p. 56.)

Le tableau suivant donne les résultats des recherches de M. Eugène Pelouze :

Soufre dissous dans 100 *parties de dissolvant.*

DISSOLVANT	BENZINES LÉGÈRES.		BENZINES LOURDES.		HUILES LOURDES.	
Densité.	0,870	0,880	0,882	0,885	1,010	1,020
Point d'ébullition.	de 80° à 100°.	de 85° à 120°.	de 120° à 200°.	de 150° à 200°	de 210° à 300°.	de 220° à 300°.
Température du dissolvant.						
15°	2,1	2,5	2,5	2,8	6,0	7,0
30°	3,0	4,0	5,3	5,8	8,5	8,5
50°	5,2	6,1	8,3	8,7	10,0	12,0
80°	11,8	13,7	15,2	21,0	37,0	41,0
100°	15,5	18,3	23,0	26,4	52,5	54,0
110°	»	23,0	26,2	31,0	105,0	115,0
120°	»	27,0	32,0	38,0	Quantité indéfinie.	Quantité indéfinie.
130°	»	»	38,7	43,8	Idem.	Idem.

Il résulte de ces chiffres :

Qu'à une même température, la solubilité du soufre dans les huiles de houille augmente avec la densité du dissolvant;

Que, pour un même dissolvant, cette solubilité augmente rapidement avec la température;

Que certaines huiles lourdes acquièrent un pouvoir dissolvant indéfini bien au-dessous de leur point d'ébullition.

M. Eugène Pelouze propose d'employer les huiles de houille à l'extraction du soufre, notamment de celui qui est contenu dans les résidus de purification du gaz d'éclairage.

D'après des expériences faites à la Compagnie Parisienne du gaz, l'huile qui donne les meilleurs résultats pratiques a une densité

de 0,995, et bout de 180 à 200 degrés. Quand on emploie des huiles plus lourdes, le soufre obtenu est trop chargé de matières goudronneuses.

Lorsqu'une huile saturée se refroidit, le soufre qu'elle contient cristallise immédiatement en octaèdres. Une distillation suffit pour le purifier complétement.

---

4. *Sur le chlorosulfure de phosphore;*

Par M. CHEVRIER.

(*Comptes rendus*, t. LXIII, p. 1003; t. LXVIII, p. 1171.)

Dans un grand ballon de 7 à 8 litres de capacité, on verse 3 équivalents de chlorure de soufre S^2Cl, qu'on chauffe jusqu'à ce que le liquide commence à bouillir. Alors l'air est en partie chassé. On projette par fragments 1 équivalent de phosphore; à chaque addition, on agite, et le liquide entre en ébullition; mais les vapeurs très-denses qui se produisent ne sortent pas du ballon que l'on ferme imparfaitement avec un entonnoir. A la fin de l'opération, il reste un liquide jaune qui est presqu'exclusivement du chlorosulfure de phosphore tenant du soufre en dissolution. On le soumet à la distillation, pour le séparer du soufre. La formule du chlorosulfure obtenu est $PhCl^3S^2$. On peut expliquer la réaction par l'équation suivante :



$$Ph + 3ClS^2 = PhCl^3S^2 + 4S \quad (1).$$

Le chlorosulfure de phosphore est un liquide incolore, assez mobile, d'une odeur vive et irritante, mais qui n'est pas désagréable lorsqu'elle est atténuée. Il bout à 124°,5 sous la pression de 750 millimètres. Ses vapeurs irritent fortement les yeux et les voies respiratoires; elles sont difficilement combustibles; elles forment avec l'oxygène un mélange détonant.

A 20 degrés, sa densité est 1,636; celle de sa vapeur est 5,9; son indice de réfraction est 1,5595.

Le courant électrique, même intense, ne le décompose pas.

---

(1) Si l'on remplace le phosphore par l'arsenic ou l'antimoine, la même réaction semble se produire; mais on n'obtient que du chlorure d'arsenic $AsCl^3$, ou du chlorure d'antimoine Sb^2Cl^3, tenant en dissolution une grande quantité de soufre qui se précipite et cristallise en prismes opaques et en octaèdres transparents au sein même du liquide.

La chaleur le décompose partiellement, en produisant du soufre et du protochlorure de phosphore.

L'eau le décompose lentement, en donnant des acides phosphorique, chlorhydrique et sulfhydrique.

Le chlore le transforme en perchlorure de phosphore et bichlorure de soufre.

L'iode et le soufre s'y dissolvent surtout à chaud.

L'arsenic, l'antimoine et l'étain sont sans influence.

Le potassium n'agit pas à froid ni à 100 degrés; mais si le métal est fondu et qu'on projette dessus une goutte de chlorosulfure, il se produit une réaction très-vive accompagnée toujours de projections; le plus souvent, le tube dans lequel on opère se brise.

Avec le sodium, la réaction est plus régulière; il se produit une belle lueur jaune; on obtient du soufre et des chlorures de phosphore et de sodium.

L'action de tous les autres métaux est nulle à froid ; le mercure est le seul qui agisse à 100 degrés; il se produit du bichlorure de mercure, du soufre, et sans doute du phosphure de mercure.

Parmi les oxydes anhydres et secs, ceux d'argent et de mercure sont les seuls qui agissent sur le chlorosulfure de phosphore. Avec l'oxyde jaune de mercure, il se produit une réaction vive qui donne lieu à du bichlorure de mercure et à un composé blanc jaunâtre, insoluble dans l'eau, mais qui se décompose à la longue au contact de ce liquide en donnant du sulfure de mercure et de l'acide métaphosphorique.

Avec l'oxyde rouge et l'oxyde d'argent, les résultats sont les mêmes; mais il faut chauffer pour que la réaction ait lieu.

Les agents oxydants détruisent rapidement le chlorosulfure de phosphore. L'acide azotique concentré agit à froid, et donne des acides phosphorique, chlorhydrique et sulfurique. Le permanganate de potasse se décolore immédiatement.

Si l'on fait tomber goutte à goutte du chlorosulfure de phosphore sur de l'acétate de soude fondu, la température s'élève beaucoup, une réaction vive se produit, et il distille un liquide incolore, insoluble dans l'eau qui le décompose, et doué de l'odeur désagréable de l'urine de chat.

---

5. *Action de l'iode sur les hydrogènes arsénié et antimonié;*

Par M. C. Husson.

(*Comptes rendus*, t. LXVII, p. 56.)

L'ammoniaque donne de l'iodure d'azote en présence de l'iode; les hydrogènes arsenié et antimonié forment non moins facilement des iodures d'arsenic et d'antimoine quand on fait passer ces deux gaz sur de l'iode.

Si, dans le tube de dégagement de l'appareil de Marsh, on volatilise un peu d'iode de manière à en tapisser les parois sur une certaine longueur, puis que, le tube encore tiède, on fasse passer le courant gazeux renfermant de l'hydrogène arsénié, l'anneau d'iode se borde d'un liséré jaune qui atteint peu à peu 3 à 4 centimètres de longueur. Ce liséré jaune est formé de petites paillettes nacrées.

Avec l'hydrogène antimonié, la réaction est moins nette; l'iode s'accumule pour former un anneau foncé, passant peu à peu au brun vers l'extrémité effilée du tube, et au jaune orangé du côté de l'appareil. L'anneau jaune ne s'étend pas comme avec l'hydrogène arsénié.

Si l'on chauffe l'anneau d'iodure d'arsenic, une partie du composé se volatilise sous forme de vapeurs jaunes, l'autre se décompose avec dégagement d'iode, et donne un produit rouge. Le même phénomène a lieu sous l'influence d'un excès d'hydrogène arsénié.

L'iodure d'antimoine chauffé dégage au contraire des vapeurs rouges, et laisse un résidu d'antimoine.

---

6. *Action décomposante d'une haute température sur quelques sulfates;*

Par M. Boussingault.

(*Comptes rendus*, t. LXIV, p. 1159.)

Sulfate de chaux. — On a employé du sulfate lamellaire d'une grande pureté.

Après vingt minutes de chauffe au chalumeau à gaz (bec de Bunsen alimenté d'air par un soufflet), le résidu était de la chaux ne contenant plus trace d'acide sulfurique.

Le même résultat a été obtenu en chauffant avec l'appareil

de M. Schlœsing (permettant d'obtenir la température de fusion du fer).

Dans les deux cas, il n'y avait pas de chaux volatilisée.

Sulfate de magnésie. — Gay-Lussac avait déjà remarqué qu'au rouge cerise le sulfate de magnésie commence à se décomposer, en donnant de la magnésie floconneuse.

Ce sulfate, chauffé avec l'un ou l'autre des appareils précédents, se décompose totalement, en donnant de la magnésie tout à fait privée d'acide sulfurique. L'appareil de M. Schlœsing peut même donner cette magnésie à l'état fritté : alors elle s'hydrate très-lentement. Dans tous les cas, on n'a pas observé de perte de magnésie.

Sulfate de strontiane. — Chauffé à l'aide de l'appareil de M. Schlœsing, le sulfate de strontiane perd tout son acide sulfurique après vingt minutes de chauffe environ. Si l'on continue à chauffer, il se volatilise de la strontiane. Dans une expérience, la perte a été de 1 centigramme après une demi-heure de chauffe, sur un poids de 226 milligrammes de strontiane.

Si l'on calcine de l'azotate et que l'on chauffe la strontiane produite, le même phénomène s'observe; après une heure et demie de chauffe, 350 milligrammes de strontiane ont perdu 56 milligrammes.

Ainsi, à la température de fusion du fer, le sulfate de strontiane est décomposé, et il y a perte notable de strontiane.

Sulfate de baryte. — Au chalumeau à gaz, la décomposition commence, mais ne devient pas complète.

Au foyer de M. Schlœsing, elle se complète tout à fait, et de la baryte se volatilise.

Le résidu de baryte que l'on obtient est d'habitude fondu et cristallin.

			milligr.		milligr.
Ainsi, après	27	minutes de chauffe,	126,7	de baryte avaient perdu	14,0
—	25	—	197,0	—	5,6
—	35	—	156,6	—	153,2
—	30	—	165,5	—	159,5

La baryte peut donc disparaître complétement à la température de la fusion du fer. Elle est volatilisée, ou bien réduite par les gaz du chalumeau et le baryum produit volatilisé ensuite.

Sulfate de plomb. — Chauffé au chalumeau à gaz au rouge blanc le sulfate de plomb éprouve des pertes sensibles. Ainsi, après trente minutes de chauffe, 310 milligrammes de sulfate ont perdu 85 milligrammes; ils renfermaient seulement 81^{mg},8 d'acide sulfurique.

Le sulfate est entré en fusion en émettant de légères vapeurs. Bientôt il s'est manifesté une ébullition indiquant que l'acide sulfurique se décomposait. Le résidu était de l'oxyde de plomb.

Sulfate de thallium. — Après vingt minutes de chauffe au chalumeau à gaz, tout avait disparu. On a constaté que c'est le sulfate lui-même qui se volatilise.

Sulfates alcalins. — A la chaleur blanche, les sulfates alcalins commencent à se volatiliser; à la température de fusion de fer, ils entrent en ébullition, et la volatilisation s'accomplit rapidement, sans qu'on puisse constater si l'acide sulfurique se détruit.

				milligr.		milligr.	
Ainsi, après	15	minutes de	feu Schlœsing,	724	ont perdu	517	
—	20		—	348	—	235	
—	10		—	841	—	459	
—	30		—	488	—	488	pas
—	35		—	739	—	739	de résidu.
—	5		—	582	—	44	

Dans le dernier cas, des vapeurs recueillies sur une lame de platine ont donné la réaction de l'acide sulfurique.

Dans les trois premiers cas, le résidu avait une réaction alcaline prononcée, mais contenait encore de l'acide sulfurique.

---

7. *Sur le thallium.*

(*Extrait des mémoires de* MM. J.-E. WILLM, LAMY ET DES CLOIZEAUX).

(*Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. V, p. 5 et 410; t. XVII, p. 310.)

Thallium métallique.

Propriétés physiques. — Les propriétés physiques du thallium métallique sont presque identiques à celles du plomb, dont il a la couleur et l'éclat. Il est très-mou. A l'air il se ternit et devient jaune ou brun. Il est peu tenace et très-malléable; sa densité est 11,86; sa chaleur spécifique est 0,0335. Il fond à 290 degrés; par refroidissement, il prend la texture cristalline; il fait alors entendre un cri analogue à celui de l'étain quand on le ploie. Il est très-volatil; sa vapeur donne aux flammes une coloration verte très-intense; son spectre se compose d'une raie verte unique.

Propriétés chimiques. — Par ses propriétés chimiques, le thallium se rapproche des métaux alcalins. Il s'oxyde rapidement à l'air, ou dans l'eau aérée. Il ne décompose pas l'eau à la tempéra-

ture ordinaire; il la décompose en présence de l'acide sulfurique et donne de l'hydrogène. Il décompose énergiquement l'acide azotique. L'acide chlorhydrique concentré le dissout difficilement. Il s'unit directement au soufre, au sélénium, au chlore, au brome, à l'iode et au phosphore.

Il forme des alliages avec les métaux; le mercure le dissout rapidement. Il est déplacé de ses combinaisons par le zinc, mais non par le fer et l'étain. Ses dissolutions salines sont décomposées par l'électricité; du thallium métallique se dépose au pôle négatif.

Les combinaisons du thallium sont plus vénéneuses que celles du plomb.

Préparation. — On peut le préparer en le précipitant de ses sels par le zinc, et en fondant le produit obtenu ; il est alors très-pur.

On l'obtient encore en fondant son chlorure avec du flux noir ; mais alors il faut que le sel soit bien exempt de sulfate, car le métal serait sulfuré et rendu plus dur. Pour l'obtenir tout à fait pur, on peut redissoudre le métal produit comme on vient de voir dans l'acide sulfurique, et étendre d'eau; un courant d'hydrogène sulfuré précipite une grande partie des métaux étrangers ; le thallium reste en dissolution ; on ajoute de l'acide chlorhydrique. Il se précipite du chlorure du thallium qu'on lave et qu'on obtient ainsi très-pur. En réduisant ce chlorure par le flux noir, on obtient le métal pur.

Oxydes de thallium.

Le thallium forme avec l'oxygène deux composés bien définis, basiques tous deux, et répondant aux formules TlO et TlO^3.

Protoxyde de thallium TlO. — Le protoxyde de thallium est soluble dans l'eau; sa dissolution possède une forte réaction alcaline. Elle déplace les oxydes métalliques de leurs sels; elle est précipitable par l'hydrogène sulfuré, ce qui la distingue des solutions de potasse et de soude.

Le protoxyde de thallium hydraté cristallise en aiguilles d'un blanc jaunâtre ; anhydre, il est noir. Il fond à 300 degrés; fondu, il attaque fortement le verre. Il est soluble dans l'alcool absolu ; il a une grande tendance à absorber l'oxygène de l'air. On le prépare soit en oxydant directement le métal, soit en précipitant le sulfate du thallium par l'eau de baryte, ou l'oxalate du thallium par l'eau de chaux.

Peroxyde de thallium TlO^3. — Le peroxyde de thallium est brun ou noir selon qu'il est hydraté ou anhydre. Il est insoluble dans l'eau, mais il se décompose en présence de ce liquide, et lui com-

munique une réaction alcaline. Il se dissout difficilement dans les acides oxygénés, et dégage de l'oxygène ; avec l'acide chlorhydrique, il se produit du chlore. Il se décompose par la chaleur, et dégage de l'oxygène. Les corps réducteurs, tels que l'acide sulfureux, l'acide oxalique, l'acide tartrique, l'acide arsénieux, le réduisent, lui et ses combinaisons, et le ramènent à l'état de protoxyde ; ce dernier est au contraire oxydé et passe à l'état de peroxyde par l'action du chlore, de l'acide hypochloreux et du permanganate de potasse ; l'acide azotique ne produit rien de semblable.

Au contact de l'eau oxygénée, et en présence de l'acide chlorhydrique, le peroxyde de thallium se réduit très-rapidement en dégageant des torrents d'oxygène. Le thallium métallique brunit dans l'eau oxygénée, et dégage aussitôt de l'oxygène par suite de la décomposition du peroxyde formé tout d'abord.

On prépare le peroxyde de thallium :

1° En précipitant à chaud une dissolution de perchlorure de thallium par la potasse ou l'ammoniaque. En présence de l'acide tartrique et d'autres matières organiques, la précipitation par l'ammoniaque n'a pas lieu. Dans le cas ordinaire, elle n'est complète qu'à l'ébullition ;

2° En précipitant de même le sesquichlorure de thallium par la potasse ; il se forme alors du peroxyde et du protochlorure :

3° En faisant passer un courant de chlore dans une dissolution d'un sel de protoxyde en présence de la potasse ;

4° En traitant la dissolution de protoxyde par le permanganate de potasse ; il se produit aussi du peroxyde de manganèse.

Sulfure de thallium.

Les dissolutions *alcalines* de protoxyde de thallium pécipitent par l'hydrogène sulfuré, et donnent un sulfure noir, s'agrégeant par l'ébullition, et s'oxydant rapidement à l'air. Il est fusible ; fondu il est noir, cristallin ; sa densité est 8.

Le sulfure de thallium est insoluble dans les sulfures alcalins.

Il se produit encore quand on traite les sels de peroxyde par l'hydrogène sulfuré ; il se dépose du soufre et du sulfure.

Il est soluble dans les acides sulfurique et azotique ; plus difficilement dans l'acide chlorhydrique.

Séléniure de thallium.

En faisant passer de l'hydrogène sélénié dans une dissolution

de carbonate de thallium, on obtient des lamelles grisâtres de séléniure soluble dans les acides chlorhydrique et sulfurique, fusible à 340 degrés.

Chlorures de thallium.

Il y a deux chlorures de thallium, $TlCl$ et $TlCl^3$, correspondant aux deux oxydes; il existe en outre des chlorures intermédiaires, Tl^2Cl^3 et $TlCl^2$, que l'on peut considérer comme des chlorures doubles.

Protochlorure de thallium $TlCl$. — En ajoutant de l'acide chlorhydrique à une dissolution de protoxyde de thallium, on obtient un précipité blanc de protochlorure de thallium très-dense, caillebotté et ressemblant au chlorure d'argent. Il est presque inaltérable à la lumière et insoluble dans l'ammoniaque. Il est soluble dans 50 parties d'eau. Il est fusible ; fondu, sa densité est 7.

Il forme avec le bichlorure de platine un chloroplatinate analogue à celui de potasse ; il est jaune pâle ; à 15 degrés il ne se dissout que dans 15585 parties d'eau.

Perchlorure de thallium TCl^3. — Traité par le chlore au-dessous de son point de fusion, le protochlorure se transforme en perchlorure fondu ; c'est un liquide ambré qui se décolore et cristallise par refroidissement ; il absorbe l'eau très-facilement. La chaleur le décompose vite : il se dégage du chlore. On l'obtient plus aisément en dissolution en traitant par le chlore du protochlorure en suspension dans l'eau, ou du thallium métallique sous l'eau.

Les chlorures intermédiaires prennent naissance quand on traite le métal par le chlore sec vers 300 degrés. Le chlorure ainsi produit est le sesquichlorure ; on peut lui faire absorber un excès de chlore et l'amener à l'état de bichlorure, en soutenant la chaleur de manière à maintenir la masse bien fluide. Le perchlorure de thallium peut se combiner avec les chlorures d'ammonium et de cuivre, et donner naissance à des sels cristallisés, que l'on a désignés sous le nom de *chlorothallates*.

Bromures de thallium.

Le brome forme avec le thallium deux bromures bien définis, $TlBr$ et $TlBr^3$. Il produit en outre des bromures intermédiaires.

Protobromure de thallium $TlBr$. — Il est analogue au protochlorure ; il se forme par l'action du bromure de potassium sur un sel de protoxyde de thallium. Il est moins caillebotté et moins soluble que le chlorure.

Perbromure de thallium $TlBr^3$. — Il se produit en faisant réagir le brome sur le protobromure ; il est peu stable et ne se conserve qu'à l'état de dissolution. Il peut se combiner à d'autres bromures, et produire des *bromothallates*.

Iodures de thallium.

Protoiodure de thallium TlI. — On l'obtient en traitant un sel de protoxyde de thallium par un iodure ; il est jaune, jaune verdâtre ou jaune orangé au moment où il se précipite ; mais au bout de quelques heures il devient toujours jaune paille. Il se dissout à 15 degrés dans 4450 parties d'eau ; sa solubilité est encore plus faible en présence d'un excès d'iodure de potassium. Par l'ébullition dans la potasse, il se dissout ; en refroidissant, il se précipite en paillettes rouges qui redeviennent jaunes au bout de quelques heures. L'acide nitrique l'attaque et met l'iode en liberté, le chlore et l'eau régale le dissolvent sans le décomposer.

Periodure.—Il paraît se former un periodure de thallium, mais extrêmement instable, lorsqu'on ajoute de l'iodure de potassium à un sel de peroxyde de thallium, ou quand on traite le protoiodure par l'iode. Le corps qui se produit est un peu soluble dans l'eau; la potasse précipite du peroxyde de thallium de sa dissolution.

Il existe aussi des *iodothallates*.

Fluorures de thallium.

Protofluorure de thallium.— Il s'obtient en traitant par l'acide fluorhydrique le protoxyde de thallium ou son carbonate. Il est déliquescent et attaque rapidement le verre.

Perfluorure de thallium. — Il prend naissance quand on fait agir l'acide fluorhydrique sur le peroxyde de thallium ou sur son nitrate. C'est un précipité vert olive, à peu près insoluble dans l'eau bouillante et dans l'acide chlorhydrique froid. La chaleur le brunit d'abord, puis il devient orangé ; enfin il reste blanc après refroidissement ; il s'est décomposé.

Sels de protoxyde de thallium.

Caractères généraux. — L'acide chlorhydrique et les chlorures solubles donnent dans les dissolutions des sels de protoxyde de thallium, un précipité blanc, caillebotté, peu soluble dans l'eau

froide, plus soluble dans l'eau bouillante, se déposant en cristaux par refroidissement.

L'iodure de potassium donne un précipité jaune, ressemblant à l'iodure de plomb, insoluble dans un excès de réactif.

Le bromure de potassium donne un précipité blanc.

L'hydrogène sulfuré ne produit aucun précipité si la liqueur est acide ou neutre ; il précipite en noir les dissolutions alcalines. Le premier caractère permet de séparer nettement le thallium du plomb.

Les alcalis et les carbonates alcalins ne donnent pas de précipité, excepté dans les liqueurs très-concentrées, où il se forme un précipité cristallin et très-dense.

Le chrômate neutre de potasse produit un précipité jaune, peu soluble dans les acides chauds, presque insoluble dans l'eau.

Le phosphate de soude donne, dans les solutions un peu concentrées seulement, un précipité gélatineux soluble dans l'acide nitrique.

L'acide oxalique ne précipite pas les sels de thallium ; il précipite la dissolution de protoxyde ou de carbonate, mais le précipité se redissout rapidement dans un excès de réactif.

Le cyanure de potassium ne produit pas de précipité.

Le sulfocyanure donne un précipité blanc, cristallin, soluble dans l'eau bouillante.

Le permanganate de potasse se décolore ; il se précipite un mélange brun foncé de peroxydes de thallium et de manganèse.

Le zinc métallique précipite le thallium métallique.

Le protoxyde de thallium forme les sels suivants :

Carbonate $TlO . CO^2$.— Obtenu en traitant le sulfate par l'eau de baryte, et saturant la liqueur filtrée par l'acide carbonique. Soluble dans 20 parties d'eau ; insoluble dans l'alcool. Cristallise en prismes clinorhombiques d'un éclat adamantin, blancs, et rappelant les cristaux de carbonate naturel de plomb. Sa densité e 7,164. Il perd son eau à 100 degrés. Il fond facilement en se décomposant partiellement. L'acide carbonique en excès ne le transforme ni en sesquicarbonate ni en bicarbonate.

Sulfate $TlO . SO^3$. — Obtenu en dissolvant le métal dans l'acide sulfurique étendu ou concentré. Cristallise en prismes rhomboïdaux droits isomorphes avec ceux de sulfate d'ammoniaque, de densité 6,603, solubles dans 20 parties d'eau à 18 degrés.

Alun de thallium et d'alumine $TlO . SO^3, Al^2O^3 . 3SO^3 + 24HO$. — Obtenu en mélangeant des dissolutions convenables. Cristallise en octaèdres dérivant du cube.

Alun de thallium et de fer $TlO.SO^3, Fe^2O^3.3SO^3 + 24HO$. — En octaèdres violet améthyste, s'effleurissant à l'air, et devenant jaune d'ocre à la surface.

Alun double de thallium, de fer et d'alumine $(Al^2O^3, Fe^2O^3).3SO^3 + (KO, TlO).SO^3 + 24HO$.

Alun de thallium et de chrôme. — Analogue à l'alun de potasse et de chrôme.

Sulfate double de thallium et de magnésie $TlO.SO^3, MgO.SO^3 + 6HO$.— Obtenu par l'évaporation lente d'un mélange de dissolutions convenables.

Sulfate double de thallium et de zinc $TlO.SO^3, ZnO.6SO^3 + HO$. — Obtenu comme le précédent; cristallise en prismes obliques à base rhombe.

Sulfate double de thallium et de cuivre $TlO.SO^3, CuO.SO^3 + 6HO$. — Cristallise en petits prismes obliques à base rhombe, d'une couleur verte. Se décompose facilement si l'on veut le soumettre à de nouvelles cristallisations.

Sulfate double de thallium et de nickel $TlO.SO^3, NiO.SO^3 + 6HO$. — Même forme que le sel double de zinc; s'en distingue par la couleur verte des cristaux.

Sulfate double de thallium et de protoxyde de fer $TlO.SO^3, FeO.SO^3 + 6HO$. — Cristaux vert pâle; se produit difficilement; se décompose si on le redissout.

Hyposulfite double de thallium et de soude.— Obtenu en dissolvant le protochlorure de thallium dans l'hyposulfite de soude à l'ébullition; cristallise en aiguilles feutrées; se décompose par la chaleur en sulfure de sodium, sulfate de soude et sulfate de thallium.

Nitrate de thallium $TlO.AzO^5$. — Cristallise en prismes rhomboïdaux droits; densité, 5,55.

Phosphates de thallium. — Les phosphates obtenus jusqu'aujourd'hui sont les suivants :

Phosphate neutre..........	$PhO^5.2TlO.HO + HO$.
Phosphate acide..........	$PhO^5.TlO.2HO$.
Phosphate basique.........	$PhO^5.3TlO$.
Pyrophosphate neutre anhydre..	$PhO^5.2TlO$.
Pyrophosphate neutre hydraté..	$PhO^5.2TlO + 2HO$.
Pyrophosphate acide........	$PhO^5.TlO.HO$.
Métaphosphate............	$PhO^5.TlO$.

Tous ces sels sont blancs, la plupart solubles dans l'eau et insolubles dans l'alcool; ils donnent tous, excepté le dernier, un précipité blanc cristallin avec l'acide azotique en solutions froides et assez concentrées.

Phosphate neutre. — S'obtient en saturant à l'ébullition de l'acide phosphorique ordinaire par du carbonate de thallium. Cristallise en tables provenant du prisme droit à base rhombe; difficilement en cristaux nets et isolés. La chaleur lui enlève d'abord son eau de cristallisation, puis son eau de constitution. Très-soluble dans l'eau. En perdant son eau de cristallisation, il perd presque toute sa solubilité.

Phosphate acide. — En ajoutant à la dissolution du phosphate neutre de l'acide phosphorique ordinaire, jusqu'à ce que la réaction soit franchement acide, il se dépose du phosphate acide en belles lames nacrées, dérivant du prisme clinorhombique; sa densité est 4,723. Ce phosphate fond à 190 degrés, perd 1 équivalent d'eau à 240 degrés et se transforme en pyrophosphate acide; la chaleur rouge lui enlève le reste de son eau, et il reste du métaphosphate.

Phosphate basique. — Obtenu en versant de l'ammoniaque dans une dissolution des deux sels précédents; il se produit en même temps du phosphate double d'ammoniaque et de thallium. Le précipité obtenu est blanc, cristallin et soyeux. Il fond au rouge sombre en une masse cristallisée blanche de densité 6,89, peu soluble dans l'eau, complétement insoluble dans l'alcool.

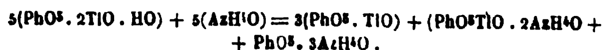
Pyrophosphate neutre anhydre.— Obtenu en chauffant au rouge le phosphate neutre anhydre $PhO^5 . 2TlO . HO$; soluble dans l'eau en se décomposant légèrement; fusible; cristallise en prismes transparents et symétriques de densité 6,786.

Pyrophosphate neutre hydraté. — Obtenu par cristallisation des eaux-mères du précédent; il est plus soluble et moins décomposable; cristallise en tables rhombes d'aspect vitreux.

Pyrophosphate acide. — Obtenu en chauffant convenablement le phosphate acide. A 100 degrés, il ne retient que son eau de constitution; il fond à 270 degrés.

Métaphosphate.—Obtenu par la calcination du phosphate acide; il est vitreux, peu soluble dans l'eau, et ne coagule l'albumine que si l'on ajoute un peu d'acide phosphorique ordinaire. Obtenu par la calcination du phosphate double de thallium et d'ammonium, il est vitreux très-soluble dans l'eau, difficilement cristallisable, et coagule immédiatement l'albumine.

Phosphate ammoniaco-thallique.—On a vu plus haut qu'on l'obtient en versant un excès d'ammoniaque dans le phosphate ordinaire de thallium :



$$5(PhO^5 . 2TlO . HO) + 5(AzH^4O) = 3(PhO^5 . TlO) + (PhO^5TlO . 2AzH^4O + PhO^5 . 3AzH^4O.$$

Il est isomorphe avec le phosphate d'ammoniaque, et cristallise en prismes droits à base carrée et pyramidée.

Arséniates de thallium. — En faisant bouillir du peroxyde de thallium avec de l'acide arsénieux, on obtient un sel cristallisable en aiguilles déliées, et répondant à la formule



$$AsO^5 . TlO . 2HO.$$

Traitée par l'ammoniaque, la dissolution de ce sel laisse précipiter des cristaux ayant la formule $AsO^5 . 3TlO$.

Chrômates de thallium. — Ils sont au nombre de trois :

Le chrômate neutre.	$TlO . CrO^3$, jaune pâle ;
Le bichrômate.	$TlO . 2CrO^3$, rouge orangé ;
Le trichrômate.	$TlO . 3CrO^3$, rouge vif.

Ferrocyanure de thallium $Tl^2FeCy^3 + 2HO$. — D'un beau jaune ; très-soluble dans l'eau ; décomposable par la chaleur ; cristallisable ; densité 4,641.

Avec les acides organiques, le protoxyde de thallium forme un grand nombre de sels : des *oxalates*, des *tartrates*, etc. Avec l'acide tartrique il se produit des sels doubles, *sels de Seignette* et *émétiques*, analogues à ceux de la potasse, bien définis, et bien cristallisés. On a obtenu aussi un *picrate de thallium* analogue au picrate de potasse, détonant violemment au-dessus de 300 degrés, fusible et décomposable entre 270 et 300 degrés. Il cristallise en prismes clinorhombiques rouges.

Sels de peroxyde de thallium.

Caractères généraux. — Les sels de peroxyde de thallium sont très-instables ; quelques-uns cependant sont solubles et cristallisables ; l'eau et la chaleur les décomposent le plus souvent.

La potasse et les carbonates alcalins précipitent tout le peroxyde à l'état brun et gélatineux ; la chaleur facilite et hâte le dépôt du précipité.

L'ammoniaque produit le même effet, mais la précipitation n'est pas toujours complète, et elle est totalement empêchée par la présence de l'acide tartrique.

L'acide chlorhydrique et les chlorures alcalins ne produisent aucun précipité si le sel est bien exempt de protoxyde de thallium ; dans le cas contraire, ils donnent lieu à un précipité jaune de chlorure intermédiaire de thallium.

Le bromure de potassium agit de la même manière.

L'iodure de potassium se décompose instantanément; il se forme un précipité noir qui est un mélange d'iode et de protoiodure de thallium.

Le chrômate de potasse ne produit pas de précipité.

Le ferrocyanure de potassium donne un précipité jaune qui devient vert par la chaleur.

L'acide oxalique donne un précipité blanc d'oxalate.

L'acide phosphorique donne un précipité blanc et gélatineux.

L'acide arsénique donne un précipité jaune et gélatineux.

L'acide sulfurique donne un précipité blanc de sulfate, même quand on le verse dans une dissolution de sulfate, les sels de peroxyde étant en général peu solubles dans les liqueurs acides.

Les principaux sels de peroxyde de thallium sont les suivants:

Sulfate. — Obtenu en traitant le peroxyde par l'acide sulfurique ou en oxydant le sulfate de protoxyde par du bioxyde de plomb ou de baryum. Il est presque toujours mélangé de sel de protoxyde cristallisable.

Azotate. — S'obtient en dissolvant le peroxyde dans l'acide azotique. Il est cristallisable.

Phosphates. — Obtenus en traitant l'azotate par l'acide phosphorique; il se précipite du phosphate blanc, insoluble dans l'eau; en ajoutant de l'ammoniaque on obtient un sel vert. L'ébullition transforme le sel blanc en sel jaune; les phosphates vert et jaune sont plus basiques que le phosphate blanc.

Arséniates. — Se produisent quand on traite le nitrate par l'acide arsénique.

Oxalate. — Obtenu en dissolvant le peroxyde dans l'acide oxalique, ou en précipitant un sel de peroxyde par le même acide.

Dosage du thallium.

Le dosage du thallium présente de grandes difficultés, à cause de la solubilité plus ou moins grande de tous ses composés.

Dosage à l'état d'iodure. — La dissolution étant ramenée à l'état de sel de protoxyde de thallium, on la traite par l'iodure de potassium en excès; l'iodure de thallium se précipite à peu près complétement, par suite de son insolubilité dans l'iodure de potassium. On décante et on lave, d'abord à l'eau chargée d'iodure de potassium. On ne peut prolonger les lavages, car on dissoudrait du précipité ; d'un autre côté, on le laisse imprégné d'iodure de potassium ; on ne peut donc obtenir une grande exactitude. Quand le lavage est terminé, on recueille le précipité sur un filtre taré

sec; l'augmentation du poids du filtre donne le poids d'iodure de thallium qui contient 61,63 p. 100 de métal.

Dosage à l'état de chloroplatinate. — On traite la dissolution de protoxyde de thallium par le chlorure de platine; le chloroplatinate étant presque complétement insoluble dans l'eau se dépose; on le lave et on le reçoit sur un filtre taré sec; il passe souvent à travers le filtre; il contient 49,81 p. 100 de thallium.

Dosage volumétrique. — La dissolution étant ramenée à l'état de sel de potoxyde, si l'on y verse une dissolution de permanganate de potasse, cette dernière se décolore jusqu'à ce que tout le thallium soit passé à l'état de peroxyde. Si la dissolution de permanganate est titrée, on peut évaluer la quantité de thallium d'après le volume employé.

Voici comment on opère : on amène la dissolution à analyser à un volume tel qu'elle contienne environ 1 gramme de métal par 350 ou 400 centimètres cubes; on la chauffe à 75 degrés, et l'on ajoute 10 à 15 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur; tout le chlorure de thallium doit se dissoudre; on verse alors goutte à goutte la dissolution de permanganate, et l'on agite, jusqu'à ce qu'une dernière goutte ajoutée ne se décolore plus. On lit alors sur la burette le volume employé.

Pour titrer la dissolution de permanganate, on peut agir sur une liqueur contenant une quantité connue de thallium, ou bien encore la titrer pour le fer. Alors si P et P' sont les poids de fer et de thallium correspondant au même volume de liqueur employée, on a :

$$\frac{P}{P'} = \frac{112}{204}.$$

Extraction du thallium. — Le thallium a été découvert dans des dépôts sélénifères du Hartz, et dans des échantillons de soufre de Lipari. On le trouve surtout dans les boues des chambres de plomb alimentées par la combustion des pyrites; presque toutes les pyrites contiennent en effet du thallium ; celles de Saint-Bel, cependant, n'en renferment pas.

Pour extraire le thallium de ces boues, on peut les faire bouillir avec 5 parties d'eau, saturer l'acide sulfurique par la chaux, et filtrer. En traitant la liqueur claire par l'acide chlorhydrique, on en précipite du chlorure de thallium qu'on lave et qu'on sépare; reprenant ce chlorure par l'acide sulfurique, et étendant d'eau, on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré dans la liqueur *acide*; le plomb et le cuivre se précipitent; le sulfate de thallium reste

dans la liqueur ; on le fait cristalliser, et l'on en extrait le thallium métallique comme il a été dit plus haut.

On peut aussi traiter les boues par du carbonate de soude en excès, et précipiter le thallium de la dissolution par l'hydrogène sulfuré.

Les eaux-mères de la fabrique de sulfate de zinc de Goslar, dans le Hartz inférieur, sont très-riches en thallium. On les traite par le zinc, qui précipite à la fois le cuivre, le cadmium et le thallium. Le précipité métallique est traité par l'eau froide, à laquelle on ajoute successivement un peu d'acide sulfurique, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'hydrogène ; on dissout ainsi le thallium et le cadmium ; le cuivre reste insoluble. On précipite le thallium par l'acide chlorhydrique, et le cadmium ensuite par le zinc. — Il faut purifier le chlorure de thallium obtenu.

---

8. *Sur les sulfures ;*

Par M. J. Pelouze.

(*Comptes rendus*, t. LXII, p. 108.)

De l'action des sulfures solubles sur les sels de chaux et de magnésie. — On admet généralement que le sulfhydrate et le bisulfhydrate d'ammoniaque ne forment pas de précipité dans les sels de chaux et de magnésie : cela est vrai ; mais par une extension non basée sur l'expérience, on a attribué les mêmes propriétés négatives aux sulfures de potassium et de sodium. — Tous les traités de chimie, se répétant les uns les autres, ont propagé cette erreur ; car c'en est une, comme on va le voir.

Une partie de chlorure de calcium ou d'acétate de chaux, dissoute dans 600 parties d'eau, forme avec le sulfure de sodium parfaitement pur et exempt de soude, un précipité blanc très-apparent. En augmentant la proportion d'eau et faisant bouillir, on constate encore la formation d'un précipité. Une dissolution de sulfate de chaux produit elle-même un trouble très-apparent dans les sulfures alcalins.

Mais si l'on emploie un excès de sel de chaux, le précipité ne se forme pas ou n'apparaît un instant que pour se redissoudre, quelle que soit d'ailleurs la concentration de la dissolution de chaux.

Le précipité blanc ainsi obtenu est de la chaux hydratée. La li-

queur qui surnage le précipité immédiatement formé donne à peine un léger trouble par l'oxalate d'ammoniaque; elle fait une vive effervescence avec le chlorure de manganèse ; il se dégage de l'hydrogène sulfuré, et il se forme un abondant précipité de sulfure de manganèse : c'est là le caractère des bisulfhydrates, ou des sulfhydrates de sulfures. Cette liqueur est formée de sulfhydrate de sulfure de sodium, et d'un peu de chaux dissoute dans l'eau. Cette curieuse réaction des sulfures alcalins sur les sels de chaux peut donc se représenter par la formule suivante :



$$CaO \,.\, A + 2NaS + 2HO = CaO \,.\, HO + NaO \,.\, A + NaS \,.\, HS.$$

— Les sels de magnésie en dissolution faible ou concentrée sont entièrement décomposés par un excès de sulfure alcalin; le précipité disparaît entièrement dans un excès de sel magnésien.

La réaction est la même que pour la chaux ; elle est plus nette et plus complète; cela tient à l'insolubilité complète de la magnésie dans l'eau, tandis que la chaux y est sensiblement soluble.

La dissolution contient toujours du sulfhydrate de sulfure de sodium qu'une ébullition même prolongée ne détruit pas. Il est curieux de rencontrer dans le même milieu, à 100 degrés, la chaux, base énergique, et un sel acide comme les sulfosels alcalins. — L'équation qui rend compte de la réaction est la suivante :



$$MgO \,.\, A + 2NaS + 2HO = MgO \,.\, HO + NaO \,.\, A + NaS \,.\, HS.$$

Les sulfosels alcalins ne décomposent pas à froid les dissolutions de sels de chaux ou de magnésie ; mais à l'ébullition, ils y forment un précipité dû à leur transformation progressive en monosulfures.

Sulfures et sulfhydrates de sulfures de calcium et de magnésium. — Le sulfure de calcium ne peut être obtenu par précipitation; mais on l'obtient facilement en réduisant le sulfate de chaux par le charbon.

Soumis à l'action de l'eau, ce sulfure ne se dissout qu'en quantité très-faible; mais avec le temps, il se décompose en présence de l'eau, et produit de la chaux hydratée et du sulfhydrate de sulfure de calcium :



$$2CaS + 2HO = CaO \,.\, HO + CaS \,.\, HS.$$

Lorsqu'on maintient à l'ébullition pendant plusieurs heures un mélange de 20 à 25 grammes de sulfure de calcium et de 200 à

300 centimètres cubes d'eau, on constate facilement un dégagement d'hydrogène sulfuré. La liqueur filtrée, dans laquelle on reconnaît une forte proportion de chaux, produit avec les sels de manganèse une vive effervescence d'hydrogène sulfuré, et un précipité de sulfure de manganèse. Le résidu est formé de sulfure de calcium non attaqué et de chaux libre ; on reconnaît cette dernière à la propriété de rendre caustique une certaine proportion de carbonate de soude.

La dissolution provenant de l'action de l'eau bouillante sur le sulfure de calcium se décompose peu à peu ; on peut cependant la concentrer ; mais au moment où la matière va se dessécher, il s'en dégage une notable quantité d'hydrogène sulfuré. Ce qui reste, lavé avec un peu d'eau, ne contient plus de sulfure ; c'est de l'hydrate de chaux.

L'action de l'eau froide sur le sulfure de calcium est la même que celle de l'eau bouillante, mais elle est moins intense. Après un contact de plusieurs jours, 1 litre d'eau renferme de 1 gramme à 1 gramme et demi de sulfhydrate de sulfure. Cette dissolution est incolore ; mais elle jaunit peu à peu à l'air.

Le sulfhydrate de sulfure de calcium ne passe pas à l'état de sulfure par l'action d'un excès de chaux. Si l'on fait arriver un courant d'hydrogène sulfuré dans un lait de chaux, la liqueur filtrée contient, dès l'origine de l'opération, du sulfhydrate de sulfure, et le résidu insoluble ne présente pas trace de sulfure. L'hydrogène sulfuré cesse d'agir dès que la dissolution filtrée renferme 70 grammes de sulfhydrate de sulfure par litre. Si l'on reçoit de l'hydrogène sulfuré dans de l'eau de chaux, on n'a pas de précipité, et il se forme encore du sulfhydrate de sulfure de calcium. Le sucrate de chaux donne le même résultat.

Le carbonate de chaux, en suspension dans l'eau, est très-lentement attaqué par l'hydrogène sulfuré. La dissolution filtrée contient, même après ébullition, une quantité sensible de sel de chaux qui est probablement du sulfhydrate de sulfure de calcium. — L'hydrate de magnésie délayé dans l'eau se dissout dans l'hydrogène sulfuré, et produit du sulfhydrate de sulfure de magnésium. La dissolution de ce sel se décompose rapidement par l'ébullition en hydrogène sulfuré qui se dégage, et en magnésie hydratée qui se précipite. On ne retrouve aucune trace de soufre ni de sulfure, soit dans la liqueur, soit dans le précipité ; la magnésie se comporte donc absolument comme la chaux en présence de l'eau et de l'hydrogène sulfuré.

— Il semble bien établi par ce qui précède que le sulfure de cal-

cium, quoique très-lentement et très-difficilement attaquable par l'eau, ne peut exister en dissolution dans ce liquide, et qu'il s'y décompose en chaux hydratée et en sulfhydrate de sulfure de calcium. Il en est de même du sulfure de magnésium.

Ces réactions expliquent pourquoi les sulfures alcalins, au lieu de former des précipités de sulfures terreux dans les sels de chaux et de magnésie, en séparent une partie des bases à l'état de liberté.

---

9. *Sur le zirconium;*

Par M. L. Troost.

(*Comptes rendus*, t. LXI, p. 109.)

Le zirconium peut être obtenu cristallisé, graphitoïde ou amorphe.

Zirconium cristallisé. — Le zirconium cristallisé est une substance très-dure, très-brillante, et ressemblant à l'antimoine par sa couleur, son éclat et sa fragilité. Il est sous forme de larges lames qui se clivent très-facilement suivant deux plans formant entre eux un angle de 93 degrés, et inclinés tous deux de 103 degrés sur la surface la plus développée. — Sa densité est 4,15, sensiblement la même que celle de la zircone. — Il est plus difficilement fusible que le silicium.

Le zirconium cristallisé résiste à l'action de l'oxygène au rouge vif; au rouge blanc, il se recouvre d'une couche d'oxyde mince et irisée qui le protége ensuite contre l'oxydation.

Il ne brûle qu'à la flamme du chalumeau à gaz détonant.

Dans le chlore, il brûle au rouge sombre, en donnant du chlorure de zirconium.

La potasse hydratée et fondue l'attaque; il s'oxyde alors aux dépens de l'eau, et dégage de l'hydrogène; lorsque toute l'eau est chassée, l'action s'arrête.

Le nitre et le chlorate de potasse sont sans action sur lui.

Chauffé longtemps au rouge blanc avec la silice, il la réduit en donnant du silicium amorphe et de la zircone: dans les mêmes conditions, l'acide borique ne paraît pas être sensiblement attaqué.

Les acides sulfurique et azotique sont sans action à froid sur le zirconium; ils l'attaquent très-lentement s'ils sont chauds et concentrés.

L'acide chlorhydrique gazeux l'attaque au rouge sombre; il se

produit un chlorure de zirconium identique à celui que donne l'action directe du chlore.

L'eau régale n'agit que très-lentement à froid; à chaud, son action est assez rapide.

L'acide fluorhydrique, concentré ou étendu, chaud ou froid, dissout rapidement le zirconium; c'est son véritable dissolvant; il se distingue par là du silicium qui n'est pas attaqué dans les mêmes circonstances.

Préparation. — Si l'on chauffe à la température de fusion du fer, dans un creuset de charbon de cornues, un mélange formé de 1 partie de fluorure double de zirconium et de potassium et de 1 partie 1/2 d'aluminium, on obtient un culot à la surface duquel se trouvent des lamelles cristallisées, serrées les unes contre les autres comme les feuillets d'un livre. En traitant ce culot par l'acide chlorhydrique étendu de deux fois son volume d'eau, on dissout l'aluminium; on sépare les lamelles de zirconium; on obtient en outre d'autres lamelles formées d'un alliage d'aluminium et de zirconium; ces deux métaux semblent pouvoir s'allier en toute proportion.

La réaction de l'aluminium sur le fluorure double a lieu à une température inférieure à celle qui est indiquée; mais alors on n'obtient qu'un alliage d'aluminium et de zirconium.

Le fluorure double de zirconium et de potassium peut être remplacé par le sel analogue de sodium.

Les lamelles ainsi obtenues ne sont pas du zirconium pur; elles contiennent 1,31 pour 100 d'aluminium, et 0,56 pour 100 de silicium.

Zirconium graphitoïde. — En essayant de décomposer le zirconate de soude par le fer, on obtient de petites paillettes gris d'acier et très-légères de zirconium.

Zirconium amorphe. — Berzélius l'a obtenu en 1824 en décomposant le fluorure double de zirconium et de potassium par le potassium. On peut encore l'obtenir en remplaçant le potassium par du sodium, du magnésium, du zinc; ou bien en faisant passer un courant de vapeur de chlorure de zirconium sur du sodium au rouge.

Le corps ainsi isolé ressemble à de la poussière de charbon; il conduit mal l'électricité; il est très-inflammable : chauffé dans le vide et projeté ensuite dans l'air, il brûle comme le fer pyrophorique. Chauffé à l'air libre, il brûle au-dessous du rouge.

10. *Sur les combinaisons de l'acide molybdique et de l'acide phosphorique;*

Par M. H. Debray.

(*Comptes rendus*, t. LXVI, p. 702.)

I. On sait que la dissolution de molybdate d'ammoniaque dans l'acide azotique possède la propriété de précipiter l'acide phosphorique ordinaire, en donnant une matière jaune à peu près insoluble dans tous les acides. Ce précipité contient environ 89 p. 100 d'acide molybdique et un peu plus de 4 p. 100 d'acide phosphorique; le reste est de l'eau et de l'ammoniaque.

Si l'on fait bouillir ce précipité avec de l'eau régale, on obtient un liquide jaune qui cristallise par évaporation en prismes dissymétriques, de couleur jaune, ne renfermant plus d'ammoniaque, et contenant 13,3 pour 100 d'eau. Le reste est formé d'acides molybdique et phosphorique anhydre, dans la proportion de 20 équivalents du premier pour 1 équivalent du second.

Ces cristaux sont solubles dans l'eau, et peuvent donner lieu à deux autres hydrates: l'un à 23,4 p. 100 d'eau, cristallisé en octaèdres réguliers, l'autre à 19,6 p. 100 d'eau, cristallisé en prismes rhomboïdaux.

Ces composés, que l'on peut nommer acides phosphomolybdiques, forment des précipités insolubles, même dans les liqueurs assez fortement acides, avec la potasse, les oxydes de rubidium, de cœsium et de thallium, l'ammoniaque, les alcalis organiques azotés. La soude et la lithine, au contraire, ne sont pas précipitées.

Les oxydes métalliques ne sont pas précipités par les acides phosphomolybdiques dans des liqueurs suffisamment acides. L'oxyde de bismuth ne fait pas exception.

II. La composition des phosphomolybdates de potasse, de thallium et d'ammoniaque peut se représenter par la formule suivante :



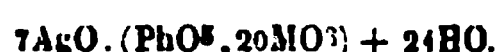
$$3RO . (PhO^5 . 20MO^3).$$

Les sels de potasse et d'ammoniaqne contiennent en outre 3 équivalents d'eau d'hydratation.

Ces sels peuvent être obtenus cristallisés; si l'on fond au rouge sombre les précipités donnés par l'acide phosphomolybdique dans les dissolutions de potasse et de thallium, on obtient un liquide huileux qui par refroidissement cristallise en masse; le sel d'ammoniaque s'obtient en petits cristaux jaunes en mélangeant deux

dissolutions de pyrophosphate de soude et de molybdate acide d'ammoniaque; les cristaux se forment lentement.

L'acide phosphomolybdique précipite l'azotate d'argent neutre; le précipité se transforme peu à peu en cristaux microscopiques dont la composition peut se représenter par la formule suivante :


$$7AgO.(PhO^5.20MO^3) + 24HO.$$

Ce sel se dissout dans l'acide azotique étendu, et la dissolution évaporée fournit de petits cristaux jaunes et brillants dont la composition est la suivante :


$$2AgO.(PhO^5.20MO^3) + 7HO.$$

III. Les acides phosphomolybdiques et les phosphomolybdates ne sont stables qu'en présence des acides; les alcalis les transforment en molybdates et phosphomolybdates dans lesquels les acides phosphorique et molybdique sont dans le rapport de 1 à 5 équivalents :


$$PhO^5.20MO^3 = (PhO^5.5MO^3) + 15MO^3.$$

Ces nouveaux phosphomolybdates sont incolores ou peu colorés, d'un aspect nacré, solubles dans l'eau et cristallisables. Traités par un excès d'acide, ils se dédoublent en acide phosphorique et acide phosphomolybdique à 20 équivalents d'acide molybdique :


$$4(PhO^5.5MO^3) = 3PhO^5 + PhO^5.20MO^3.$$

Les formules de ces nouveaux phosphomolybdates sont :


Sel d'ammoniaque. . . . $6AzH^4O.2PhO^5.10MO^3 + 14HO.$


Sel de potasse. . . . . . $6KO.2PhO^5.10MO^3 + 14HO.$

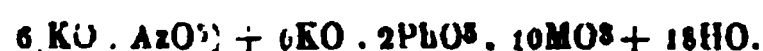

Sel de soude. . . . . . . $6NaO.2PhO^5.10MO^3 + 28HO.$


Sel d'argent. . . . . . . $6AgO.2PhO^5.10MO^3 + 14HO.$

L'action ménagée des acides les transforme en de nouveaux sels dont le type est représenté par la formule suivante :


$$5RO.2PhO^5.10MO^3.$$

Ils peuvent former des sels doubles avec les azotates; voici la composition de l'un d'eux :


$$6(KO.AzO^5) + 6KO.2PhO^5.10MO^3 + 18HO.$$

L'acide phosphomolybdique $2PhO^5.10MO^3$ n'a pas encore été

isolé; cela tient à la grande facilité avec laquelle il se transforme en acide phosphomolybdique stable :



$PhO^5 . 20MO^3$.

IV. Pour faire l'analyse des composés dont il vient d'être parlé, voici la marche qui a été suivie.

L'acide phosphomolybdique est mélangé avec de la chaux, et chauffé au rouge naissant dans une nacelle de porcelaine placée dans un tube. On dirige d'abord dans ce tube un courant d'hydrogène sulfuré, puis un courant d'acide chlorhydrique. Il se forme du chlorure de calcium, du sulfure de molybdène cristallisé comme le sulfure naturel et du chlorophosphate de chaux ou apatite également cristallisé. Le chlorure de calcium s'enlève par l'eau; l'apatite, par l'acide chlorhydrique qui n'attaque pas le sulfure de molybdène; celui-ci est recueilli et pesé. On fait le dosage de l'acide phosphorique dans la liqueur chlorhydrique.

S'il s'agit des sels alcalins, comme il se forme des chlorures volatils, la méthode précédente ne s'applique que pour le dosage des acides phosphorique et molybdique. Pour doser les alcalis, on dissout le sel dans un excès d'ammoniaque; on verse une dissolution ammoniacale d'azotate d'argent, et l'on fait bouillir ; les acides phosphorique et molybdique sont précipités à l'état de sels d'argent ; les alcalis restent seuls dans la liqueur avec l'excès d'azotate d'argent employé.

---

11. *Sur la préparation de l'uranium;*

Par M. Peligot.

(*Comptes rendus*, t. LXVII, p. 507.)

On remarquait à l'exposition universelle de 1867 une assez grande quantité d'uranium fondu, provenant de l'usine de M. Menier, à Saint-Denis, et préparé par M. Valenciennes; voici le procédé employé :

Un mélange de 75 grammes de protochlorure d'uranium, 150 grammes de chlorure de potassium desséché et 50 grammes de sodium en petits fragments est introduit dans un creuset de porcelaine; on recouvre le mélange de chlorure de potassium. Le creuset de porcelaine est placé dans un creuset de plombagine : l'intervalle des deux creusets et rempli de poussière de charbon bien sec. On chauffe au charbon de bois dans un four à vent. La

réaction se fait avec régularité à la température rouge. On donne ensuite aussi rapidement que possible un coup de feu de manière à fondre le métal sans volatiliser le fondant.

Dans cette préparation, il faut : d'une part éviter l'action de l'humidité sur le protochlorure d'uranium qui le décompose et le transforme en oxyde irréductible par le sodium; d'autre part abriter le métal, pendant son refroidissement, du contact de l'oxygène de l'air.

Ainsi préparé, l'uranium a une densité de 18,33.

---

12. *Sur le protosulfure de cobalt*;

Par M. Hiortdahl.

(*Comptes rendus*, t. LXV, p. 75.)

Si l'on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré sur de l'oxyde noir de cobalt chauffé au rouge, il se sépare des globules fondus d'un sulfure d'une couleur jaune de laiton et d'un vif éclat métallique. Il est fortement attirable par l'aimant. Sa composition est la suivante :

Cobalt	71,4
Soufre	28,6

La formule Co^4S^3 exigerait :

Cobalt	71,09
Soufre	28,91

Le sulfure préparé par Proust en fondant le cobalt métallique avec du soufre avait la composition suivante :

Cabalt	71,5
Soufre	28,5

Si l'on fond du sulfate de cobalt anhydre avec du sulfure de baryum et un excès de chlorure de sodium, on trouve après refroidissement un grand nombre de cristaux prismatiques très-minces associés quelquefois à des cristaux lamellaires de sulfate de baryte. Ces cristaux, dont la longueur atteint de 4 à 5 millimètres, ont un éclat métallique prononcé; leur couleur est jaune bronze. Ils sont solubles dans les acides, même dans l'acide acétique; en présence de l'eau, ils se transforment lentement en sulfates. Ils ne sont pas magnétiques. Leur composition est la suivante :

Cobalt	64,5
Soufre	35,5 (1)

La formule CoS exigerait :

Cobalt	65,22
Soufre	34,78

Ils ressemblent beaucoup à la *millérite*.

Le protosulfure de cobalt existe en masse cristallisées à Rajpootanah, dans les Indes ; il a reçu le nom de *syepoorite*.

---

13. *Sur l'absorption du gaz hydrogène par les métaux* ;

Par M. Th. Graham.

(*Comptes rendus*, t. LXVI, p. 1014 ; t. LXVIII, p. 101 et 1511.)

Si l'on plonge dans l'acide sulfurique étendu une feuille de zinc au contact de laquelle on place une plaque de palladium, ce dernier métal absorbe l'hydrogène produit sur le zinc ; au bout d'une heure, et à 12 degrés, il en retient 173 fois son volume. Si la plaque de palladium sert d'électrode négative dans la décomposition de l'eau acidulée, le métal retient 200 fois son volume de gaz hydrogène. En chauffant le palladium et en le refroidissant dans l'hydrogène, il en absorbe seulement 90 fois son volume.

Si l'on met dans le vide du palladium ayant absorbé de l'hydrogène, qu'on le maintienne à la température à laquelle s'est faite l'absorption, le gaz ne se dégage pas du tout, et le vide reste parfait, même après deux mois. L'hydrogène absorbé a pour ainsi dire perdu ses propriétés gazeuses. Du reste, l'absorption a aussi bien lieu dans des atmosphères très-raréfiées que sous une certaine pression.

Si l'on chauffe le métal saturé d'hydrogène, le gaz se dégage ; souvent il s'échauffe de lui-même, et perd ainsi tout son gaz. Il l'abandonne aussi très-rapidement si on le place à l'électrode positive lors de la décomposition de l'eau acidulée.

Le platine et le fer doux peuvent aussi absorber de l'hydrogène comme le palladium et dans les mêmes conditions, mais dans des

(1) L'analyse présente de grandes difficultés, vu l'impossibilité de dégager les cristaux de la masse de sulfate de baryte sans qu'ils retiennent une petite quantité de ce corps.

proportions bien moindres : le platine absorbe un peu plus de deux fois, le fer, la moitié environ de son volume de gaz.

L'oxygène ne peut être absorbé par les métaux qui précèdent, comme l'est l'hydrogène. L'acide carbonique l'est un peu. Une plaque de platine ayant servi d'électrode positive pendant plusieurs heures, n'a dégagé par la chaleur aucune trace d'oxygène, mais a abandonné un peu d'acide carbonique.

C'est le palladium qui permet le plus facilement d'étudier les propriétés du gaz hydrogène absorbé. Les propriétés absorbantes de ce métal varient du reste avec la manière dont il a été préparé. Sous forme de poudre spongieuse, il peut absorber 655 fois son volume de gaz, sans rien laisser échapper dans le vide au-dessous de 100 degrés. S'il a été préparé en décomposant une dissolution de chlorure de palladium par la pile, il se présente sous forme de lamelles brillantes qui peuvent absorber 982 fois leur volume de gaz. Ainsi chargé d'hydrogène, le palladium laisse s'échapper des traces de ce gaz dans le vide, mais avec une lenteur extrême.

Lorsque les métaux ont été ainsi chargés d'hydrogène, leurs propriétés sont profondément modifiées. Voici le résultat des expériences faites sur le palladium :

1. *Densité.* — Lorsque le palladium a absorbé 800 à 900 fois son volume d'hydrogène, sa densité a diminué sensiblement. On ne peut la mesurer d'après les procédés ordinaires, car lors de l'immersion dans l'eau, il se dégage de petites bulles d'hydrogène sur la surface du métal ; mais on peut l'apprécier en étudiant les variations de volume du métal.

Ces variations sont considérables, comme on peut le voir dans le tableau suivant qui résume un certain nombre d'expériences faites sur des fils de palladium.

VOLUMES d'hydrogène absorbé pour 1 de métal.	LONGUEUR primitive du fil.	AUGMENTATION de longueur du fil.	DILATATION linéaire sur 100.
	millimètres.	millimètres.	
329	496,189	2,363	0,475
462	493,040	3.480	0,748
487	370,358	2,768	0,747
745	505,538	5,765	1,142
867	488,976	6,680	1,366
888	556,185	7,467	1,342
936	609,144	9,749	1,600

Quand on charge d'hydrogène et qu'on décharge à plusieurs reprises le même fil de palladium, ce fil se raccourcit, et le retrait

paraît se produire indéfiniment. Un fil d'une longueur primitive de 609mm,144, soumis à quatre charges et décharges successives, a subi les variations de longueur suivantes :

	ALLONGEMENT.	RETRAIT.
	millim.	millim.
1re expérience	9,77	9,70
2e —	5,765	6,20
3e —	2,36	3,14
4e —	3,482	4,95
Total		23,99

Le fil s'était donc raccourci en tout de 23mm,99, soit de 3,93 p. 100. Une portion du même fil, après plusieurs expériences, a subi un retrait final de 15 p. 100 de sa longueur.

Néanmoins, la densité du fil redevient la même qu'avant la charge ; si le fil se raccourcit, il se grossit en conséquence.

Le retrait existe toujours quel que soit le mode de décharge. On s'est assuré que le recuit ne produit pas de retrait appréciable.

Par les chiffres qui précèdent, on voit qu'un fil soumis à des expériences succesives, subit des variations de longueur de plus en plus faibles ; ses propriétés absorbantes diminuent de la même manière.

Après plusieurs décharges, le fil se fendille longitudinalement, surtout lorsque la décharge a eu lieu au pôle positif d'une pile.

2. *Ténacité.* — On a constaté que la ténacité du palladium complétement chargé d'hydrogène n'est plus que les 80 centièmes de la ténacité primitive.

3. *Conductibilité électrique.* — La conductibilité diminue aussi d'une façon sensible ; en exprimant celle du cuivre pur par 100, celle du palladium ordinaire est de 8,10 ; elle descend à 5,99 quand le métal est chargé d'hydrogène.

4. *Magnétisme.* — Dans les circonstances ordinaires, le palladium est, d'après Faraday, *réellement, mais faiblement magnétique* ; on a constaté qu'il le devient fortement lorsqu'il se charge d'hydrogène.

Les propriétés chimiques du palladium sont profondément modifiées par l'absorption de l'hydrogène. Un fil de palladium saturé d'hydrogène brûle comme un fil de lin enduit de cire quand on l'allume à la flamme d'une lampe. Il précipite le bichlorure de mercure sans donner de dégagement d'hydrogène, en ramenant ce sel à l'état de protochlorure ou de mercure métallique. Il réagit sur le chlore et l'iode dans l'obscurité en formant des acides chlorhydrique et iodhydrique ; il réduit à l'état de sels de protoxyde

les sels de peroxyde de fer ; il tranforme en prussiate jaune le prussiate rouge de potasse ; il possède, en un mot, une puissance désoxydante très-énergique.

Lorsque le palladium est allié à d'autres métaux, il communique aux alliages ainsi formés ses propriétés absorbantes pour l'hydrogène, toutes les fois que sa proportion ne descend pas beaucoup au-dessous de 50 p. 100.

On a constaté que ces alliages s'allongeaient plus que le palladium, pour une même proportion d'hydrogène absorbée ; mais que par la décharge, tantôt ils reprenaient leurs dimensions primitives, tantôt ils éprouvaient un retrait (1).

Le tableau suivant donne les résultats d'expériences faites sur un certain nombre d'alliages.

COMPOSITION de l'alliage.		VOLUMES d'hydrogène absorbé pour 1 d'alliage.	DILATATION linéaire pour 100.	RETRAIT sur la longueur primitive après décharge pour 100.
Palladium. . . . . Platine.	76,03 23,97	701	2,732	0
Palladium. . . . . Or.	75,21 24,79	461	1,90	0
Palladium. . . . . Or.	93,00 7,00	585	1,70	1,70
Palladium. . . . . Or.	90,00 10,00	475	1.65	très-faible.
Palladium. . . . . Or.	85,21 14,79	»	»	0
Palladium. . . . . Argent.	70,00 30,00	400	1,64	0
Palladium. . . . . Argent.	66,00 34,00	411	1,629	0
Palladium . . . . Argent.	30,00 70,00	0	»	»
Palladium. . . . . Nickel.	50,00 50,00	69	0,2	0
Palladium. . . . . Bismuth.	50,00 »	0	»	»
Palladium. . . . . Cuivre.	6,00 1,00	0	»	»

(1) Le retrait n'a lieu que lorsque le métal allié au palladium se trouve en trop faible proportion.

14. *Sur l'osséine des os fossiles ou enfouis depuis longtemps dans le sol;*

Par M. SCHEURER-KESTNER.

(*Comptes rendus*, t. LXIX, p. 1207; t. LXX, p. 1179.)

L'osséine ordinaire, à l'état de pureté, est insoluble dans l'eau; elle se dissout en quelques heures dans l'acide chlorhydrique concentré et froid. Débarrassée de l'excès d'acide chlorhydrique qu'elle contient, cette dissolution est neutre, et ne présente ni les propriétés d'une dissolution de gélatine ni celles des dérivées connues de cette substance. Évaporée à siccité, elle fournit un dépôt blanc qui répand à la calcination l'odeur de corne brûlée. Elle n'est précipitée par aucun des sels qui précipitent la gélatine; après ébullition et concentration, elle ne produit ni gelée ni cristaux.

L'acide chlorhydrique affaibli n'exerce que peu d'action sur l'osséine; lorsque l'acide ne contient plus que 1 1/2 p. 100 d'acide chlorhydrique, c'est-à-dire lorsqu'il est étendu de 30 à 40 fois son volume d'eau, il n'a plus aucune action appréciable.

M. Scheurer-Kestner a reconnu que l'osséine qui se rencontre encore dans les os fossiles ou enfouis depuis longtemps dans le sol, a été modifiée plus ou moins, de manière à devenir partiellement soluble dans l'acide chlorhydrique étendu de 30 à 40 fois son volume d'eau. Voici comment il opère:

Il commence par doser l'azote total de la matière animale, en le transformant en ammoniaque par calcination avec de la chaux sodée.

Il traite ensuite une portion de l'os à examiner par l'acide chlorhydrique très-faible, de manière à dissoudre les phosphates et les carbonates de la matière minérale, ainsi que l'osséine soluble. Le résidu, composé d'osséine insoluble et de silice, est lavé, séché, et pesé sur un filtre taré et sec. Après calcination, on pèse le résidu; par différence, on obtient le poids de l'osséine insoluble. Le poids de l'azote total permet de calculer celui de l'osséine totale; par différence, on aura le poids de l'osséine soluble. Comme vérification, la dissolution qui renferme cette dernière est saturée par la soude, et évaporée à sec au bain-marie; la matière sèche est traitée par la chaux sodée pour doser l'azote qu'elle contient; le poids de ce dernier sert à calculer l'osséine soluble.

M. Scheurer-Kestner croit avoir remarqué que, plus les os fossiles ou enfouis sont anciens, plus la proportion d'osséine soluble augmente, pourvu que ces os se soient trouvés dans des conditions analogues.

Voici les résultats d'un certain nombre d'analyses qu'il a effectuées; ils s'accordent du reste avec les recherches de M. Delesse (1) sur la proportion d'azote contenue dans divers échantillons d'os fossiles ou enfouis :

	POUR 100 DE LA MATIÈRE DE L'OS.			POUR 100 D'OSSÉINE TOTALE	
	Osséine totale.	Osséine soluble.	Osséine insoluble.	Osséine soluble.	Osséine insoluble.
1	15,4	12,3	3,1	79,88	20,12
2	13,2	9,3	3,9	71,4	28,6
3	11,7	8,9	2,8	76,2	23,8
4	»	»	»	15,0	85,0
5	»	»	»	27,0	73,0
6	»	»	»	26,5	73,5
7	»	»	»	6,5	93,5
8	»	»	»	27,5	72,5
9	8,39	7,11	1,28	84,7	15,3
10	2,52	1,88	0,64	74,6	25,4
11	17,21	14,69	2,52	85,3	14,7
12	16,00	8,86	7,14	55,4	44,6
13	11,68	5,06	6,62	43,3	56,7
14	10,87	6,59	4,28	60,6	39,4
15 (a)	8,23	4,79	3,44	58,2	41,8
16	»	»	»	36,3	63,7
17	»	»	»	62,6	37,4

(a) Dans l'analyse des quinze premiers échantillons, l'auteur avait employé de l'acide chlorhydrique à 5 à 6 degrés B.; il n'était pas assez dilué; il est donc probable que les chiffres trouvés pour l'osséine soluble sont un peu trop forts.

1. Pariétal humain, } trouvés dans le Lehm, à Eguisheim, près de Colmar.
2. Débris de crâne de cerf, }
3. Humérus de mammouth, }
4. Crâne trouvé à Herrlisheim, près d'Eguisheim (cimetière de l'époque franque, IVe ou Ve siècle).
5. Crâne trouvé à Colmar, et ayant séjourné plusieurs siècles dans la terre mêlée de décombres.
6. Pariétal humain, trouvé à Colmar (époque gauloise).
7. Pariétal trouvé dans le gravier (époque mérovingienne).
8. Crâne trouvé à Heidwiller, à 1 mètre de profondeur (époque mérovingienne).
9. Tête d'ours des cavernes de Sentheim (*Ursus spelæus*).
10. Fémur idem.
11. Mâchoire d'homme, } trouvés à Vauréal, près de Pontoise, dans une galerie couverte.
12. Mâchoire de femme, }
13. Fragment de fémur, }
14. Tibia, } trouvés dans une allée couverte d'Argenteuil.
15. Pariétal, }
16. Os de mammouth trouvé dans le Lehm à Eguisheim (2).
17. Os d'*Ursus spelæus*.

(1) *De l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre*. Annales des mines, 1860, t. XVIII, et Comptes rendus.

(2) Ce n'est pas le même ossement que le n° 3.

§ II. — TRAVAUX DE CHIMIE ANALYTIQUE.

15. *Sur l'analyse immédiate des diverses variétés de carbone* ;

Par M. Berthelot.

(*Comptes rendus*, t. LXVIII, p. 183, 259, 331, 392 et 445.)

M. Brodie a reconnu qu'en soumettant la plombagine naturelle à une oxydation énergique à basse température, on la transforme en un composé particulier nommé *oxyde graphitique*, renfermant du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. A l'état humide, ce composé se présente sous forme de paillettes jaunes et micacées que la dessiccation transforme en masses brunes et amorphes. Il est insoluble dans l'eau. Soumis à l'action de la chaleur, il se détruit subitement avec production d'étincelles, et se boursoufle beaucoup ; il reste une poudre noire très-divisée, composée aussi de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, et que l'on peut appeler *oxyde pyrographitique*.

Si l'on soumet cet oxyde pyrographitique à la même oxydation énergique à basse température, il se forme des produits solubles, et de l'oxyde graphitique en proportion très-inférieure à celle qui existait tout d'abord. En transformant cet oxyde graphitique en oxyde pyrographitique, puis oxydant ce dernier, on n'obtient plus qu'une petite quantité d'oxyde graphitique. En général, trois ou quatre traitements au plus suffisent pour faire disparaître complétement l'oxyde graphitique.

Voici comment on peut opérer l'oxydation du carbone à basse température : on le réduit en poudre, et on le mélange avec cinq fois son poids de chlorate de potasse ; on ajoute de l'acide nitrique fumant de façon à faire une sorte de pâte que l'on place dans une petite fiole ouverte chauffée à 50 ou 60 degrés pendant trois ou quatre jours. Au bout de ce temps, on reprend la masse par de l'eau tiède, et on la lave pour enlever les sels de potasse. En général, il est nécessaire de répéter la même série d'opérations cinq, six fois et plus, pour que la réaction soit complète. Dans ces conditions :

1° Le diamant, incolore ou noir, n'est pas oxydé sensiblement, quelque prolongée que soit l'attaque ;

2° Le graphite naturel est transformé complétement en oxyde

graphitique insoluble dans l'eau, et ne donne pas de composé soluble ;

3° Le carbonne amorphe est tout entier transformé en produits d'un brun jaunâtre, entièrement solubles dans l'eau, et analogues aux acides humoïdes.

On peut donc facilement distinguer les différentes espèces de carbone. Il convient alors, pour nommer ces variétés, de conserver le mot de *diamant* pour les carbones qui ne s'attaquent pas, d'appeler *graphites* les carbones seuls qui se transforment en oxydes graphitiques, en réservant le mot de *carbonne amorphe* pour désigner toutes les variétés qui donnent lieu à des composés solubles dans l'eau.

Dès lors il est facile de déterminer à laquelle de ces classes appartient un carbone donné, et d'analyser un mélange contenant des carbones de classes différentes :

1° Soit, par exemple, un mélange de carbone amorphe et de diamant ; par plusieurs oxydations successives, on détruira tout le carbone amorphe ; on pourra peser le diamant.

2° Soit maintenant un mélange de graphite et de carbone amorphe ; par plusieurs traitements successifs, on dissoudra tout le carbone amorphe, et l'on transformera tout le graphite en oxyde graphitique. Le dosage du carbone dans ce dernier produit donnera le poids du graphite.

3° Soit enfin un mélange des trois classes. Après avoir enlevé le carbone amorphe à l'état de composés solubles, il restera un mélange d'oxyde graphitique et de diamant. Soumis à l'action de la chaleur d'abord, de l'oxydation ensuite, et cela un certain nombre de fois, l'oxyde graphitique se transforme en composés solubles ; le diamant restera donc seul comme résidu.

D'après ces définitions, les variétés naturelles et usuelles de carbone sont ainsi classées :

1° Diamants :

Diamant blanc, diamant noir.

2° Graphites :

Plombagine, Graphite hexagonal, graphite électrique (1), graphite des fontes grises.

3° Carbones amorphes :

Charbons de bois, houilles, anthracites, coke, charbon des cornues à gaz, charbon métallique des tubes dans lesquels on décom-

(1) Provenant du transport qui s'effectue d'un pôle à l'autre dans l'appareil à lumière électrique.

pose des hydrocarbures par la chaleur, noir de fumée (1), noir animal, graphite artificiel, matière charbonneuse de la météorite d'Orgueil.

Les produits que l'on obtient par l'oxydation de carbones d'une même classe ne sont pas identiques; ainsi les composés solubles dérivant des carbones amorphes n'ont pas le même aspect, la même teinte; ils ont des facilités différentes à s'émulsionner, etc.

Les divers graphites présentent des différences tout aussi marquées.

La plombagine donne un oxyde graphitique qui, humide, est en paillettes micacées, d'un jaune pâle, insolubles dans tous les réactifs et dissolvants. Desséché, il se transforme en masses brunes et amorphes, ayant perdu toute trace de la structure primitive de la plombagine. Par la chaleur, vers 250 degrés, il se transforme en oxyde pyrographitique sous forme d'une poudre noire, légère et floconneuse. Traité à 280 degrés avec 80 parties d'acide iodhydrique, il absorbe de l'hydrogène et reste brun, cohérent, insoluble dans tous les réactifs; mais il perd la propriété de se décomposer par la chaleur.

Le graphite des fontes donne un oxyde graphitique jaune verdâtre, en écailles bien développées et que la dessiccation n'agglomère ni ne décolore. La chaleur le détruit avec une déflagration très-vive, et un boursouflement considérable. L'acide iodhydrique le transforme en une matière brune qui se détruit à la chaleur avec boursouflement.

Le graphite électrique donne un oxyde graphitique sous forme de poudre marron qui ne s'agglomère pas par la dessiccation; il se décompose par la chaleur avec déflagration, et donne une poudre pesante et non floconneuse; l'acide iodhydrique le transforme en une matière qui ne se décompose plus par la chaleur.

Pour reconnaître si sous certaines influences un charbon peut se transformer et passer d'une classe dans une autre, on a étudié l'effet des principaux agents physiques et chimiques sur ce corps.

En chauffant les graphites et les carbones amorphes au rouge blanc dans une atmosphère d'hydrogène, on a simplement remarqué que ces derniers éprouvent un accroissement de cohésion.

L'électricité, au contraire, modifie les charbons. En raclant les crayons de charbon de cornues qui servent à obtenir la lumière électrique, on a obtenu des poudres qui ont laissé de grandes

(1) Le noir de fumée et une certaine variété de coke d'aspect métallique et fondu ont laissé une trace d'oxyde graphitique; tous les autres carbones de cette classe se sont entièrement dissous.

quantités d'oxyde graphitique quand elles provenaient du pôle négatif, et des traces seulement du même composé, lorsqu'elles étaient prises au pôle positif ; il semble qu'il n'y ait que le charbon transporté qui se modifie et devienne graphite.

Le charbon de sucre éprouve la même modification dans les mêmes conditions. Le diamant est transformé également en graphite, donnant le même oxyde graphitique que les précédents.

Le chlore, au rouge blanc, ne change ni le charbon de bois en graphite, ni le graphite en carbone amorphe.

L'iode, au rouge blanc, n'agit pas sur le coke.

Si l'on allume, dans un jet d'oxygène, un crayon de charbon de cornue préalablement chauffé au rouge, et qu'on l'éteigne brusquement dans l'eau dès qu'il est en pleine incandescence, on trouve que la portion qui a été la plus chauffée est transformée en grande partie en graphite.

Si l'on étudie les différentes variétés de carbone que l'on peut préparer en décomposant des corps qui renferment ce métalloïde, on reconnaît tout d'abord l'absence complète du diamant dans ces produits.

Les combinaisons hydrocarburées, sous l'influence de la chaleur, ne donnent jamais que du carbone amorphe.

Par l'électricité, on obtient un mélange de carbone amorphe et d'un peu de graphite.

Le chlore, agissant sur le gaz des marais, ne produit que du carbone amorphe.

La benzine, la naphtaline et autres carbures, chauffés à 280 degrés avec une quantité d'acide iodhydrique insuffisante pour les saturer d'hydrogène, donnent lieu à des carbones amorphes.

L'iode agissant au rouge sur le carbone naissant, donne du graphite ; en décomposant l'éther iodhydrique par la chaleur rouge, c'est cette variété que l'on obtient.

Le chlorure de carbone, C^2Cl^4, se décompose au rouge, et donne lieu à un mélange de carbone amorphe et d'une forte proportion de graphite.

Le sulfure de carbone donne les mêmes résultats.

Le cyanogène, décomposé par l'étincelle, fournit surtout du carbone amorphe et très-peu de graphite.

Le carbonate de soude, réduit par le phosphore, donne un mélange des deux carbones. Réduit par le sodium au rouge, il donne surtout du graphite.

Le bore adamantin de M. Deville, traité au rouge par un courant de chlore sec, donne un résidu composé exclusivement de gra-

phite qui peut être obtenu en poudre ou en métaux hexagonaux selon la température.

La fonte blanche, dépourvue de lamelles visibles de graphite, et traitée par le chlore au rouge sombre, donne un mélange de carbone amorphe et d'un peu de graphite.

Les lamelles noires qui se séparent de la masse dans les fontes grises sont exclusivement composées de graphite.

---

16. *Dosage du carbone dans la fonte, le fer et l'acier ;*

Par M. Boussingault.

(*Comptes rendus*, t. LXVI, p. 873.)

La fonte pulvérisée est mêlée avec 15 parties de bichlorure de mercure. On ajoute rapidement assez d'eau pour former une pâte claire que l'on triture pendant une demi-heure dans un mortier d'agate. La pâte diluée est versée dans un verre, et maintenue pendant une heure à une température de 80 à 100 degrés. On jette sur un filtre, et on lave à l'eau chaude. Le résidu insoluble se compose du protochlorure de mercure formé par l'action du fer sur le bichlorure, et du carbone du métal. On le sèche complétement à l'étuve, on le met dans une nacelle de platine que l'on introduit dans un tube de verre communiquant avec un générateur d'hydrogène pur et sec. On chauffe progressivement jusqu'au rouge sombre dans le courant d'hydrogène. Le protochlorure est volatilisé sans décomposition pour la majeure partie; il n'y a que très-peu de mercure révivifié.

La volatilisation du protochlorure pourrait être effectuée aussi bien dans l'azote que dans l'hydrogène ; mais il est plus difficile d'obtenir un courant régulier d'azote, et l'on pourrait redouter la présence d'un peu d'oxygène dans ce gaz. Il vaut donc mieux employer l'hydrogène ; on purifie ce gaz de l'arsenic et de l'oxygène qu'il pourrait contenir en le faisant passer à travers une colonne d'éponge de platine.

Lorsque la volatilisation du protochlorure de mercure est terminée, on laisse refroidir la nacelle dans le courant d'hydrogène, et on la pèse.

Le charbon obtenu est volumineux, d'un beau noir, et brûle comme de l'amadou pour peu que l'on élève la température de la nacelle, quand on a opéré sur une fonte blanche ; la fonte grise

donne au contraire un résidu renfermant surtout du graphite, et qui ne brûle bien qu'avec le concours de l'oxygène pur.

On fait brûler le carbone obtenu ; après combustion, il reste une cendre que l'on porte au rouge dans un courant d'hydrogène, et qu'on pèse ensuite.

Cette cendre est siliceuse. Lorsqu'on a traité de l'acier ou du fer, elle ne provient généralement pas de scorie empâtée dans le métal ; on peut dire qu'elle résulte dù silicium combiné à ce métal ; mais elle n'en représente pas la totalité, parce que le silicium uni au fer, et transformé en chlorure par le bichlorure de mercure, repasse par l'action de l'eau, à l'état de silice partiellement soluble, et dont une portion indéterminée est entraînée par les lavages. C'est la silice insoluble que l'on retrouve avec le carbone.

L'expérience suivante vient appuyer cette explication :

Un gramme de siliciure de fer, obtenu par la combinaison directe du fer et du silicium, et dont la composition est la suivante :

Fer.	90,66
Silicium.	9,34
Carbone.	traces
	100,00

a été trituré avec 15 grammes de bichlorure de mercure, et après sublimation du protochlorure formé et combustion du résidu, les cendres pesaient $0^{gr},141$, tandis que la silice correspondant au silicium total pèserait $0^{gr},20$. Il était donc resté $0^{gr},06$ de silice dans les liqueurs de lavage (1).

Ce n'est pas là, du reste, un fait isolé ; dans les cendres laissées par le carbone des fontes phosphoreuses, ou des aciers au tungstène, on ne retrouve pas tout le phosphore ni tout le tungstène.

Les matières métalliques soumises à l'action du bichlorure de mercure doivent être réduites en poudre, ou au moins en très-petits fragments. Néanmoins, lorsque la pulvérisation ne peut se faire, on peut chlorurer le métal en le faisant digérer pendant un temps suffisamment long dans la liqueur de bichlorure. Un cylindre d'acier pesant $1^{gr},06$, et suspendu à l'étuve dans une dissolution contenant 15 grammes de bichlorure, a été dissous complétement au bout de deux jours.

(1) Si le silicium combiné au fer est attaqué à froid par le bichlorure de mercure, il n'en est plus ainsi pour le silicium cristallisé. La trituration avec ce réactif ne donne à froid aucune réaction. Pour que le silicium soit attaqué, il faut une température élevée. En chauffant le mélange au rouge, dans une atmosphère de vapeurs de bichlorure de mercure, l'attaque est complète.

Toutefois il ne faut pas s'exagérer l'état de division auquel il faut amener le fer pour que la trituration avec le bichlorure réussisse; des copeaux faits au tour ont pu être attaqués complétement après une demi-heure de trituration.

---

17. *Dosage du graphite dans le fer carburé*;
Par M. BOUSSINGAULT.

(*Annales de chimie et physique*, 4e série, t. XX, p. 243.)

Si l'on chauffe le résidu contenant le carbone total d'une fonte, à l'air et à une température ne dépassant pas le rouge obscur, le carbone combiné brûle seul; le graphite reste intact. On pèse le résidu après cette combustion incomplète et après l'avoir soumis de nouveau au courant d'hydrogène au rouge; la différence de poids donne le carbone combiné. On chauffe ensuite dans un courant d'oxygène qui brûle tout le graphite, on réduit de nouveau par l'hydrogène (1) et l'on pèse; la différence de poids donne le graphite.

Ce procédé donne la même proportion de graphite que lorsque après avoir traité la fonte par l'acide chlorhydrique, on dose le carbone dans le résidu.

---

18. *Dosage du silicium dans la fonte, le fer et l'acier*;
Par M. BOUSSINGAULT.

(*Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. XXII, p. 457.)

Lorsque dans le traitement d'une fonte suffisamment riche en silicium, on arrive à recueillir quelques centigrammes de silice, l'attaque par les acides conduit à un dosage qui peut être satisfaisant; mais il n'en est pas ainsi quand le poids de la silice recueillie ne dépasse pas quelques milligrammes. On doit alors se demander si cette silice provient bien réellement du silicium engagé dans le métal, ou si elle n'a pas été apportée par l'acide employé comme dissolvant ou fournie par les vases dans lesquels on a opéré. Pour savoir

(1) On réduit par l'hydrogène après chaque combustion, pour que s'il reste des traces de fer, ou s'il y a des scories ferreuses dans le résidu, l'état d'oxydation soit toujours le même au moment des pesées.

si d'infimes proportions de silicium accompagnent le carbone dans les aciers fins, on ne pouvait donc pas songer à faire usage de la voie humide.

L'acier est soumis successivement à l'action de deux gaz à la température rouge : l'air atmosphérique pour brûler le fer, le carbone et le silicium ; le gaz acide chlorhydrique sec pour transformer et enlever le métal à l'état de chlorure. L'opération comporte par conséquent deux phases. Quand on veut oxyder et chlorurer simultanément en faisant passer sur de l'acier chauffé au rouge un courant de gaz chlorhydrique mêlé d'air, on ne retire jamais toute la silice correspondante au silicium contenu, et fréquemment on n'en retire pas du tout. Cela tient à ce que le silicium uni au fer passe à l'état de chlorure lorsque le gaz chlorhydrique l'atteint avant qu'il se soit oxydé.

Pour oxyder le métal, on le réduit en limaille ou en minces copeaux, que l'on place dans une nacelle de platine sous le moufle; la combustion a lieu à la température de la coupellation ; en deux ou trois heures, le fer passe à l'état d'oxyde des battitures renfermant un petit excès d'oxygène.

Lorsque l'oxydation est terminée, on porte la nacelle dans un tube de platine disposé sur une grille. A l'une des extrémités de ce tube, s'adapte le tube abducteur d'un générateur donnant du gaz chlorhydrique desséché à travers une colonne d'acide sulfurique. A l'autre extrémité est fixé un ballon tubulé en verre dont le col, dirigé de haut en bas, plonge dans un flacon rempli d'eau, à quelques millimètres au-dessous de la surface du liquide.

Le dégagement du gaz chlorhydrique peut être réglé facilement en élevant plus ou moins la température du ballon où il se produit, et en versant l'acide sulfurique plus ou moins vite.

Le tube de platine étant chauffé au rouge, on fait passer lentement le courant d'acide chlorhydrique. Le chlorure de fer produit se volatilise et va se condenser sur les parties froides du tube et dans le ballon qui est adapté à ce tube. En regardant à travers ce ballon, on voit ce qui se passe dans le tube éclairé par l'incandescence de ses parois. On aperçoit d'abord les vapeurs de chlorure de fer ; la lumière diminue à mesure qu'elles deviennent plus intenses ; puis un réseau d'aiguilles finit par l'intercepter plus ou moins. Si ce réseau devenait trop serré dans le tube, de manière à donner lieu à une obstruction, il suffirait de chauffer le tube à l'endroit où il se forme : les aiguilles iraient alors se déposer dans le ballon.

Quand on juge l'opération terminée, on retire la nacelle du tube,

quitte à l'y replacer si l'on aperçoit encore quelques points d'oxyde non chloruré. La silice restée dans la nacelle est parfaitement blanche et extrêmement divisée. Elle a généralement la forme qu'avait l'oxyde lorsqu'on l'a retiré du moufle. Si cette silice, par exemple, vient d'un fil de fer roulé en spirale, elle aura la forme de cette spirale; dans cet état de ténuité, on ne saurait mieux la comparer qu'au linéament de cendre laissé par un fil de lin après une combustion complète accomplie dans une atmosphère absolument calme; à cause de cette ténuité, il importe de modérer convenablement la vitesse du courant d'acide chlorhydrique pendant la chloruration, et d'enfermer la nacelle dans un tube de verre pour faire la pesée.

On s'assure de la pureté de la silice en versant dans la nacelle de l'acide fluorhydrique additionné d'une goutte d'acide sulfurique. Dans tous les dosages faits sur le fer et l'acier, la silice a disparu par ce traitement. Mais il existe des fontes qui donnent une silice renfermant de faibles quantités de matières terreuses autres que la silice et provenant vraisemblablement de traces de laitier empâtées dans le métal.

Il existe du reste un moyen de s'assurer de la présence du laitier dans les fontes: c'est de les soumettre au rouge à l'action du gaz chlorhydrique sans oxydation préalable; le fer est alors entraîné avec le silicium combiné, et il reste dans la nacelle le laitier mêlé à du carbone; en brûlant ce carbone, le laitier reste seul; il y a peut-être là un moyen de déterminer dans une fonte la silice qui provient réellement du silicium combiné au fer.

Ainsi, 2 grammes d'acier cémenté ou de fer, soumis au rouge vif avec un courant d'acide chlorhydrique sec, n'ont pas laissé trace de résidu fixe. Au contraire, 1 gramme d'une fonte de la Moselle a laissé $0^{gr},09$ de laitier dont la silice n'était certainement pas dans le métal à l'état de silicium. Si le métal renfermait de l'aluminium, l'alumine produite par l'oxydation au rouge vif serait insoluble dans l'acide chlorhydrique et resterait avec la silice. Ce cas ne s'est présenté dans aucune des expériences citées plus loin.

La pureté de la silice obtenue presque dans toutes ces expériences, rend très-vraisemblable que le phosphore est entraîné avec le fer. Pour s'en assurer, on a soumis à l'action de l'acide chlorhydrique sec un phosphate de fer naturel, la vivianite, dont la composition est la suivante:

Acide phosphorique	28,3
Protoxyde de fer	42,0
Eau	28,0
Argile	1,7
	100,00

On a opéré sur 1 décigramme de matière. Au bout d'une heure, tout avait disparu, à l'exception d'une petite quantité de gangue terreuse ne renfermant ni fer ni phosphore. Ce dernier a été retrouvé dans la dissolution du chlorure de fer produit.

Le phosphate de fer est donc décomposé au rouge par le gaz chlorhydrique sec, l'acide phosphorique étant entraîné avec le chlorure de fer.

Il résulte de ce fait que lors du dosage du silicium dans les fontes, fers et aciers, par la méthode indiquée ci-dessus, le phosphore que ces matières peuvent renfermer est éliminé en même temps que le métal.

Le tableau suivant donne les résultats obtenus dans un certain nombre d'analyses effectuées par la méthode qui vient d'être indiquée :

	Silicium pour 100.
Fer de Suède	0,164
Idem	0,187
Fer puddlé d'Unieux (Loire)	0,093
Idem	0,090
Fer de cardes	0,190
Fer en fils	0,230
Acier fondu, marqué *à la cloche*	0,070
Acier fondu et cémenté	0,440
Acier chinois	0,070
Acier fondu doux d'Unieux	0,093
Acier fondu pour ressorts de voitures	0,094
Acier fondu Krupp étiré	0,440
Acier fondu au tungstène	0,093
Acier pour ressorts de montres	0,044
Acier Wootz	0,062
Idem	0,078
Fonte noire de Ria	1,40
Idem	1,20
Fonte blanche de Ria	0,33
Idem	0,35
Idem	0,34

19. *Sur l'état du soufre dans les eaux minérales sulfurées* ; Par M. Béchamp.

(*Annales de chimie et de physique*, 4e série t. XVI, p. 202.)

Les eaux sulfurées peuvent contenir du soufre à trois états différents :

Sulfures alcalins ou alcalinoterreux solubles;
Sulfhydrates de sulfures;
Hydrogène sulfuré libre.

Le dosage du soufre total ne donne en général aucune indication sur l'état de ce soufre ; pour être fixé à cet égard, il faut recourir à des réactions étrangères à ce dosage. Celles que l'auteur applique sont les suivantes :

1° Si l'on verse une dissolution d'un nitroprussiate quelconque soluble, dans une dissolution d'un sulfure métallique quelconque soluble, il se développe instantanément une superbe coloration pourpre, violette ou bleue, d'une très-grande intensité.

2° Versé dans une dissolution saturée d'hydrogène sulfuré, le nitroprussiate ne produit aucune coloration, ni instantanément, ni lentement.

3° Si l'on ajoute dans la dissolution précédente un peu de potasse, de soude, d'eau de baryte ou de chaux, d'ammoniaque, etc., en un mot d'une base capable de donner un sulfure soluble par l'action de l'hydrogène sulfuré, la coloration apparaît immédiatement.

4° Les dissolutions de sulfhydrates de sulfures donnent également une coloration instantanée, mais différente de celles que produisent les dissolutions de sulfures simples.

Mais les quantités de soufre contenues dans les eaux minérales sont souvent très-faibles, et se trouvent en présence de matières alcalines ou alcalinoterreuses en proportions très-différentes suivant les eaux. L'auteur a voulu se rendre compte par des expériences directes de la valeur réelle des caractères ci-dessus indiqués. Il a étudié en conséquence l'effet du nitroprussiate de soude sur des dissolutions de sulfures divers, lorsqu'on étend ces dissolutions de plus en plus, et qu'on fait varier les proportions des bases qu'elles contiennent.

Sulfures alcalins. — Les essais faits sur les sulfures alcalins montrent que la coloration obtenue varie du pourpre au violet puis au bleu à mesure que la masse d'eau augmente ; qu'à un moment donné, elle cesse d'être instantanée; et qu'enfin elle cesse

de se produire même à la longue, lorsque la dissolution ne contient plus que $0^{gr},06$ de sulfure de potassium, ou $0^{gr},05$ de sulfure de sodium par litre. Mais si alors on ajoute un excès de potasse, de soude caustique ou de carbonate alcalin en dissolution, la coloration reparaît, et ne disparaît que lorsque la proportion de sulfure descend à 8 milligrammes par litre.

Si l'on opère sur le sulfhydrate de sulfure alcalin, on trouve dès l'origine une différence notable ; la coloration, au lieu d'être pourpre, est violet foncé, et passe ensuite au bleu. Elle disparaît et se modifie plus rapidement lorsqu'on étend de beaucoup d'eau ; toutes choses égales d'ailleurs, la coloration avec le sulfure simple se conserve avec sa nuance propre, au moins dix fois plus longtemps qu'avec le sulfhydrate de sulfure.

Dans tous les cas, la coloration persiste d'autant plus longtemps que le réactif est plus abondant.

Sulfure de calcium. — Si l'on traite du sulfure de calcium, obtenu en réduisant le plâtre par le charbon, par 500 parties d'eau, tout se dissout ; traité par le nitroprussiate, la coloration obtenue passe du pourpre au violet quand on étend d'eau, et disparaît complétement lorsqu'elle ne contient plus que 18 milligrammes de sulfure par litre. Mais elle reparaît lorsqu'on ajoute de l'eau en excès ; elle est alors rouge pourpre ; elle persiste jusqu'à ce qu'il n'y ait plus que 9 milligrammes de sulfure par litre.

On trouve que la colorisation persiste d'autant plus longtemps que la proportion de base est plus grande.

Avec le sulfhydrate de sulfure, la coloration est tout d'abord violette ; si l'on enlève l'hydrogène sulfuré en excès par un courant de gaz inerte, elle repasse au pourpre. Dans tous les cas, elle persiste moins longtemps qu'avec le sulfure.

Si dans la dissolution de sulfure on fait passer un excès de gaz acide carbonique, la coloration existant tout d'abord se détruit complétement ; si l'on arrête le courant de gaz, elle reparaît très-lentement ; l'acide carbonique en excès détruit donc le sulfure de calcium qui se reforme dès que l'excès de gaz disparaît.

Réciproquement, si l'on fait passer un excès d'hydrogène sulfuré dans du carbonate de chaux délayé dans l'eau, on obtient une coloration pourpre immédiate par le nitroprussiate ; il s'est donc produit du sulfure ; on peut constater du reste qu'il s'est dégagé de l'acide carbonique.

De même si l'on fait agir l'hydrogène sulfuré sur du phosphate de chaux délayé, il se forme peu à peu une coloration violette avec

le nitroprussiate; il s'est donc aussi produit un composé sulfuré.

Sulfhydrate de sulfure de magnésium. — Le sulfhydrate de sulfure de magnésium donne par le nitroprusssiate une coloration pourpre violacée qui se modifie quand on étend d'eau, et disparaît quand la dissolution ne renferme plus que 30 à 35 milligrammes de sulfure par litre.

Si l'on enlève, par un courant d'hydrogène pur, l'hydrogène sulfuré du sulfhydrate de sulfure, il se produit un précipité qui n'est que de l'hydrate de magnésie; le sulfure de magnésium ne peut exister en présence de l'eau.

L'hydrogène sulfuré dissout le carbonate de magnésie; la dissolution se colore en pourpre violacé, mais se modifie rapidement quand on étend d'eau.

Sulfure de baryum.— Le sulfure de baryum a donné des résultats analogues aux précédents; la coloration disparaît lorsque la dissolution ne contient plus que 157 milligrammes de sulfure par litre.

Sulfhydrate d'ammoniaque. — Le sulfhydrate d'ammoniaque se colore en rouge pourpre par le nitroprussiate comme les sulfures. La coloration disparaît lorsque la liqueur ne contient plus que 31 milligrammes de sulfhydrate par litre.

De ce qui précède, on peut conclure que tous les sulfures alcalins ou alcalino-terreux qui peuvent exister dans les eaux minérales naturelles, perdent la faculté de se colorer par le nitroprussiate, lorsque la liqueur est très-étendue; cela n'est pas dû au manque de sensibilité du réactif, car si l'on ajoute des bases en excès, la coloration reparaît et persiste très-longtemps encore dans des dissolutions bien plus étendues. D'un autre côté, on voit des influences de masses produire des réactions inverses, comme l'action de l'acide carbonique sur les sulfures, et celle de l'hydrogène sulfuré sur les carbonates. Enfin, il est constaté que certains sulfures, ceux de calcium, de magnésium et de baryum, ne peuvent exister en présence de l'eau, qu'à l'état de sulfhydrates de sulfures qui donnent de la chaux, de la magnésie et de la baryte quand on leur enlève de l'hydrogène sulfuré. On peut donc admettre qu'en présence d'une grande quantité d'eau, les sulfures se décomposent, donnent d'abord des sulfhydrates de sulfures, comme l'indique la coloration bleue ou violette qui se produit, puis finalement produisent un simple mélange de base et d'hydrogène sulfuré, ne se colorant plus par le nitropussiate. Cette décomposition est tout naturellement retardée par la présence d'un excès de base, en vertu de l'affinité de cette base pour l'hydrogène sulfuré. Cela ne

constitue pas un fait isolé : on sait en effet que l'eau décompose le perchlorure de fer en oxychlorure de fer et acide chlorhydrique, et les borates de soude en soude caustique et acide borique.

Le degré de dilution nécessaire pour produire la décomposition des sulfures par l'eau varie avec la nature du sulfure ; il semble être d'autant plus grand que l'équivalent du sulfure est plus petit.

La plupart des eaux minérales sulfurées renferment des carbonates alcalins et alcalino-terreux, et plus rarement du phosphate de chaux. Sans doute ces matières sont attaquées par l'acide sulfhydrique de l'eau et forment des sulfures, dont la présence peut quelquefois être démontrée par le nitroprussiate; mais on n'a le droit d'affirmer que ces sulfures existent réellement que lorsque la proportion des bases en présence est considérable ; elle doit être de beaucoup supérieure à celle qui serait nécessaire pour former des sulfures avec tout l'hydrogène sulfuré, car dans ce cas, le nitroprussiate n'accuse le plus souvent qu'une coloration violette ou bleue, se produisant lentement. Dans tous les cas où les bases qui peuvent être combinées avec l'hydrogène sulfuré donneraient un poids de sulfure par litre inférieur aux limites trouvées ci-dessus, on peut affirmer que l'hydrogène sulfuré est libre.

---

20. *Dosage de l'acide phosphorique ;*

Par M. Th. Schlœsing.

(*Comptes rendus*, t. LXVI, p. 1043 ; t. LXVII, p. 1247.)

La méthode de M. Th. Schlœsing consiste à transformer d'abord le phosphore de la substance à analyser en phosphure de fer, puis à doser ce corps dans ce dernier composé.

1° Si l'on chauffe au blanc dans un creuset brasqué un minéral quelconque renfermant des phosphates avec un excès de silicate de fer, on obtient une fonte de fer dans laquelle tout le phosphore a passé. Mais pour cela, il faut que le silicate de fer soit en proportion telle qu'après la saturation de toutes les bases par la silice, il reste encore un excès de silicate ; ce silicate se réduit parallèlement à l'acide phosphorique, et produit continuellement un excès de fer en présence du phosphore naissant.

On obtient le silicate de fer en fondant dans un creuset brasqué 28 parties de fer en limaille, 80 parties de peroxyde de fer et 48 parties de sable pur.

La matière fondue est séparée du fer en excès, pilée et tamisée; sa composition varie entre 4/3 et 5/3 de protoxyde de fer pour 1 de silice.

On mélange la matière à analyser avec du silicate de fer et du charbon de cornue en poudre; la proportion de silicate de fer est calculée de manière que la scorie à produire en retienne un excès; le poids du charbon est la moitié de celui qu'il faudrait pour réduire tout le fer introduit.

Si la matière à analyser est riche en phosphore, on pourrait craindre que l'acide phosphorique commençant à se réduire avant qu'il n'y eût en présence un excès de fer suffisant, du phosphore se perdît. On ajoute alors 2 à 3 parties de fer en limaille.

On commence d'abord par chauffer progressivement, puis on donne un coup de feu pendant vingt à vingt-cinq minutes, à la température suffisante pour fondre le fer.

Le creuset refroidi, on le casse, et l'on sépare le culot de la scorie. Ce culot renferme tout le phosphore.

2° On sait que le chlore sec passant à une température assez modérée sur du fer contenant du phosphore, de l'arsenic, du soufre, du silicium, transforme tous ces corps en chlorures. Le chlorure de fer est moins volatil que les autres; de plus, il retient toujours une certaine proportion de chlorure de phosphore. Mais si l'on met du chlorure de potassium en présence du chlorure de fer phosphoreux, ce réactif retient tout le chlorure de fer, et le chlorure de phosphore se dégage complétement, ainsi que les chlorures de soufre, d'arsenic et de silicium.

L'appareil employé est le suivant :

Un tube de verre vert, façonné à la lampe, présente une partie A de 30 centimètres de longueur, dans laquelle s'effectuent les réactions; elle est chauffée sur une grille. A la suite, vient une partie étirée de 15 centimètres de longueur, inclinée en contre-bas; puis le tube reprend son diamètre et une direction horizontale sur une longuenr de 10 centimètres dans la partie B; il est terminé par une pointe effilée.

Au fond de la partie A, on place un tampon d'amiante sur lequel on verse du chlorure de potassium pur, déshydraté et grossièrement pilé, sur une longueur de 12 à 15 centimètres; on met par dessus un autre tampon d'amiante; à la suite, on introduit une nacelle de porcelaine contenant le phosphure de fer en fragments, et un dernier tampon d'amiante. Le tube est fermé par un bouchon que traverse un bout de petit tube de verre destiné à amener le courant gazeux.

On verse dans la partie B quelques centimètres cubes d'eau, et on la relie à un tube vertical rempli de fragments de porcelaine humide destinés à arrêter les vapeurs qui ne se seraient pas condensées en B. A la suite de ce tube vient un petit flacon laveur, témoin du courant de chlore.

Après avoir chauffé le chlorure de potassium en A et chassé de cette région toute trace d'humidité, on fait arriver le courant de chlore; lorsque tout l'air du tube a été expulsé, on chauffe doucement la partie contenant la nacelle. Dès que la réaction commence, un liquide rouge se condense autour de la nacelle, et se répand dans le chlorure de potassium. Celui-ci est porté à une température assez élevée pour faire fondre le chlorure double de potassium et de fer, mais dans la partie voisine de la nacelle seulement. On évite ainsi l'obstruction du tube, sans volatiliser toutefois le chlorure de fer. Vers la fin de l'opération, on chauffe davantage, mais sans aller jusqu'au rouge sombre, car à cette température, le chlorure de phosphore attaquerait le verre du tube. On chauffe doucement la partie étirée, afin de faire passer tout le chlorure de phosphore dans la partie B. En présence de l'eau, il se transforme en acides phosphorique et chlorhydrique.

Le chlore doit être constamment en faible excès; le courant doit être régulier.

Lorsque l'opération est terminée, on coupe le tube dans sa partie étirée, et on fait couler le liquide contenu en B dans une capsule de porcelaine; on lave bien le tube et les fragments de porcelaine; on réunit toutes les liqueurs de lavage, on ajoute de l'acide nitrique, on évapore afin de chasser tout l'acide chlorhydrique, et on dose l'acide phosphorique à l'état de phosphate d'argent (1).

---

21. *Sur la séparation de la potasse et de la soude;*

Par M. Th. SCHLOESING.

(*Comptes rendus*, t. LXXIII, p. 1269.)

L'auteur rapporte que dans son étude des perchlorates, Serullas avait reconnu que de tous les perchlorates des bases que l'on rencontre le plus souvent dans les analyses, le perchlorate de potasse

(1) L'auteur n'indique pas comment il sépare d'abord la silice soluble et gélatineuse qui se produit dans la liqueur par la décomposition du chlorure de silicium par l'eau. — A. H.

seul est insoluble dans l'alcool. C'est sur cette propriété qu'es fondé le procédé qu'il décrit.

Le réactif qu'il emploie est le *perchlorate d'ammoniaque pur*. En le traitant par l'eau régale faible, on le transforme rapidement en un mélange d'acides chlorhydrique, azotique et perchlorique. Voici comment l'auteur conseille d'appliquer le procédé.

Soit un mélange de chlorures ou de nitrates alcalins en dissolution; on concentre dans une capsule de porcelaine tarée; on verse dans la liqueur concentrée le mélange des trois acides chlorhydrique, azotique et perchlorique, et on évapore. Lorsque la matière est presque sèche, il s'en échappe des fumées blanches épaisses : c'est le signe que l'acide perchlorique est en excès, et qu'en raison de sa plus grande fixité, il a complétement chassé les acides chlorhydrique et azotique que renfermait la matière; cette dernière est dès lors transformée en perchlorate alcalin. Lorsque le dégagement de vapeurs blanches a cessé, on laisse refroidir et on lave le perchlorate en plusieurs fois, par de petites quantités d'alcool à 36°, que l'on décante sur un petit filtre destiné à arrêter les parcelles de perchlorate de potasse entraînées par l'alcool. Plus la soude est abondante, plus le lavage est difficile, aussi convient-il de dissoudre le perchlorate lavé une première fois dans très-peu d'eau, d'évaporer à sec, et de laver ensuite à l'alcool; deux lavages consécutifs à l'alcool suffisent pour enlever au perchlorate de potasse tout le sel de soude qu'il retient. On dissout par quelques gouttes d'eau les parcelles de perchlorate restées sur le filtre; on reçoit la dissolution dans la capsule de porcelaine qui renferme la majeure partie du sel; on évapore à sec, et on chauffe à 250 degrés; le sel est alors absolument desséché et bon à peser.

La dissolution alcoolique de perchlorate de soude est évaporée dans un matras à long col, et le sel décomposé par la chaleur; on le transforme en sulfate de soude et on le pèse. Cette transformation peut se faire directement sans décomposer le perchlorate par la chaleur, on opère alors dans la porcelaine.

Lorsque la potasse et la soude sont accompagnées d'acide sulfurique ou d'acides fixes, ceux-ci doivent être d'abord éliminés par les procédés en usage. La présence de la chaux, de la baryte et de la magnésie, ne gêne en rien l'exacte séparation du perchlorate de potasse, de sorte que la séparation de la potasse peut se faire presque au début d'une analyse, et qu'ainsi le procédé devient très-expéditif lorsqu'il ne s'agit que de doser la potasse seule.

L'auteur rapporte les résultats d'un certain nombre d'analyses faites sur des composés connus; les chiffres obtenus sont très-

concordants, même lorsque l'un des alcalis se trouve en très-petite quantité par rapport à l'autre.

Il est essentiel d'avoir du perchlorate d'ammoniaque bien pur ; voici comment on l'obtient :

On prépare d'abord du chlorate de soude, soit en traitant par le carbonate de soude le mélange de chlorures et de chlorates calciques que donne la dissolution d'hypochlorite de chaux saturée de chlore et portée à l'ébullition, soit en saturant directement de chlore le sel de soude. On obtient ainsi un mélange de chlorure de sodium et de chlorate de soude. Or, 100 parties d'eau à 122°, agissant sur un excès des deux sels, dissolvent :

249,6 parties de chlorate de soude
et 11,5 parties de chlorure de sodium.

A 12 degrés, elles dissolvent :

68,5 parties de chlorate
et 11,5 parties de chlorure.

En effectuant une dissolution saturée à 122°, et la laissant refroidir à 12°, le sel qui se précipitera sera donc du chlorate de soude, que l'on pourra purifier complétement du chlorure qu'il retient par adhérence en répétant la cristallisation.

En traitant par la chaleur le chlorate de soude ainsi obtenu, on le transforme en un mélange de chlorure de sodium et de perchlorate de soude ; la transformation est terminée, et le dégagement d'oxygène s'arrête presque tout à fait, lorsque la matière prend la consistance pâteuse ; elle ne renferme plus que très-peu de chlorate. On reprend la masse par le moins d'eau possible, et l'on obtient une dissolution sirupeuse de perchlorate de soude; le chlorure et le chlorate restent à l'état de précipité cristallin.

La dissolution, mêlée à chaud avec de l'eau bouillante saturée de chlorhydrate d'ammoniaque, laisse déposer de gros cristaux de perchlorate d'ammoniaque.

Lorsque le perchlorate d'ammoniaque cristallise en présence de sels potassiques, il entraîne toujours de la potasse qu'il est impossible de lui enlever. Il faut donc que le chlorate de soude employé pour la préparation soit bien exempt de potasse.

On vérifie la pureté du perchlorate d'ammoniaque obtenu, en le décomposant par l'eau régale faible, et évaporant à sec ; il ne doit rester aucun résidu.

22. *Sur la composition chimique de la gadolinite;*

Par M. Des Cloizeaux.

(*Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. XVIII, p. 305.)

L'auteur étudie les propriétés optiques et cristallographiques de la gadolinite, et montre qu'il en existe deux variétés, l'une biréfringente, l'autre monoréfringente, et que ces variétés sont quelquefois mélangées dans un même morceau.

Il donne ensuite les analyses suivantes, faites sur quelques échantillons :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.
Silice	25,59	24,65	25,26	29,18	24,65	24,85	27,00
Ytria	44,96	51,38	45,53	47,30	49,60	51,46	36,50
Oxyde de cérium	»	7,99	6,08	3,40	7,64	5,24	14,33
Oxyde de lanthane	6,33	»	»	»			»
Protoxyde de fer	12,13	13,69	20,28	8,00	15,03	13,10	(Fe^2O^3) 14,50
Id. de manganèse	»	»	»	1,30	»	»	»
Glucine	10,18	»	»	2,00	2,13	4,80	6,00
Alumine	»	»	0,28	»	»	»	»
Chaux	0,23	1,29	0,50	3,15	0,46	0,50	0,50
Magnésie	»		0,11	»	traces	1,11	»
Potasse	»	»	0,21	»	»	»	»
Soude	»	»	0.20	»	»	»	»
Eau	»	»	»	5,20	»	»	»
	99,42	100,00	98,45	99,53	99,51	100,97	98,83
Rapport entre l'oxygène de la silice et l'oxygène des bases	2/3	1	1	1	»	»	»

N° 1. Cristaux d'Hitteroë, biréfringents; analyse de M. Scheerer(1).

Nos 2 et 3. Cristaux et masses vitreuses d'Ytterby, monoréfringents; analyses de M. Berlin.

N° 4. Cristaux imparfaits de Korarfvet; analyse de Berzélius.

Nos 5 et 6. Variétés d'Ytterby; analyses de M. Berlin.

N° 7. Variété de Fahlun? analyse de M. Connel.

On remarque que le n° 1, variété biréfringente, renferme une forte proportion de glucine, et que sa formule est $B^3 . Si^2$, tandis que les nos 2 et 3, variétés monoréfringentes, n'en contiennent pas, et que leur formule est $B . Si$.

Les nos 5, 6 et 7 sont probablement des mélanges des deux variétés; leurs propriétés optiques n'ont pas été déterminées.

(1) Deux autres analyses, faites par Thomson et Richardson, sur des échantillons de localité un peu douteuse, ont fourni des résultats presque identiques à ceux du n° 1.

23. *Dosage volumétrique du zinc ;*

Par M. A. Renard.

(*Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. XV, p. 41.)

Si dans une quantité déterminée d'une dissolution de prussiate jaune de potasse on ajoute la dissolution d'un sel de zinc, tout le zinc se trouve précipité à l'état de cyanoferrure insoluble dans l'eau ammoniacale. Déterminant alors, par le permanganate de potasse, l'excès de prussiate employé, on pourra calculer la proportion de zinc sur laquelle on a opéré.

Pour cela, on commence par titrer une dissolution de prussiate jaune de potasse. On dissout environ 100 grammes de ce sel dans un litre d'eau (liqueur *a*); on prend 25 centimètres cubes de la liqueur *a*, et on étend d'eau, de manière à avoir un volume total d'un demi-litre. On prélève 100 centimètres cubes de la dissolution ainsi obtenue, et on la verse dans un verre, avec 25 ou 30 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur, ne contenant ni chlore, ni acide sulfureux (1); à l'aide d'une burette graduée, on y verse une dissolution de permanganate de potasse, faite en dissolvant 5 grammes de sel dans 2 litres d'eau ; on ajoute du permanganate jusqu'à ce que le prussiate jaune soit transformé en prussiate rouge, ce dont on est averti, avec beaucoup de netteté, par la coloration rouge que prend le liquide. On lit sur la burette le volume de permanganate versé ; il varie de 20 à 25 centimètres cubes; soit V ce volume en centimètres cubes.

Dans cette réaction le chlore, dégagé par l'action de l'acide chlorhydrique sur le permanganate, agit sur le cyanoferrure et le transforme en cyanoferride.

On dissout ensuite 0g,5 de zinc pur dans 15 à 20 centimètres cubes d'acide chlorhydrique ; on ajoute 30 à 40 centimètres cubes d'ammoniaque, de manière à redissoudre tout le précipité d'oxyde de zinc. On introduit le tout dans une éprouvette de 500 centimètres cubes; on y ajoute 25 centimètres cubes de la liqueur *a*, et l'on ajoute de l'eau pour compléter les 500 centimètres cubes. On laisse reposer.

On prélève 100 centimètres cubes de la liqueur claire; on neu-

(1) Si la liqueur n'était pas fortement acide, il se formerait un trouble en versant du permanganate ; ce trouble, qui est un précipité de cyanoferrure de manganèse, ne doit jamais se former; l'essai ne serait pas exact. S'il se produit, il faut recommencer, et ajouter plus d'acide chlorhydrique.

tralise par l'acide chlorhydrique, et on ajoute un excès de 25 à 30 centimètres cubes de cet acide.

On verse ensuite le permanganate de potasse : soit V', le volume nécessaire pour obtenir la couleur rouge.

Soit maintenant une dissolution chlorhydrique de zinc dans laquelle on veut doser le métal ; on y ajoute 25 centimètres cubes de la liqueur *a*, on étend de manière à faire un volume d'un demi-litre, et on laisse reposer. On prend 100 centimètres cubes de la liqueur claire, et on verse du permanganate ; soit V'', le volume nécessaire pour arriver à la coloration rouge ; le poids x du zinc cherché sera donné par la formule :

$$x = 0^{g},1 \frac{V - V''}{V - V'}.$$

S'il existe d'autres substances en dissolution avec le zinc, elles ne gênent pas la réaction, pourvu qu'elles ne donnent pas de cyanoferrures insolubles ; telles sont la chaux, la magnésie, l'alumine, le plomb s'il est en petite quantité (1). Mais s'il y avait du cuivre ou du fer, il faudrait commencer par les séparer.

L'auteur pense que cette méthode permet de doser le zinc avec une approximation de 0,1 pour cent. Avec les liqueurs employées, c'est en effet là la limite de l'erreur commise si on peut lire le volume de permanganate employé à un dixième de centimètre cube près, et si l'erreur de lecture est la seule que l'on commette.

---

24. *Étude chimique de plusieurs des gaz à éléments combustibles de l'Italie centrale ;*

Par MM. Fouqué et Gorceix.

(*Comptes rendus*, t. LXX, p. 946.)

Les tableaux suivants donnent les résultats des analyses faites par les auteurs, sur un certain nombre d'échantillons des gaz qui se dégagent spontanément du sol en différents points de l'Italie centrale.

---

(1) Le cyanoferrure de plomb est un peu soluble.

I. — Gaz provenant de la région des Apennins comprise entre Modène et Imola.

	CO^2	Az	C^2H^4	C^4H^6
Barigazzo	1,58	1,81	96,61	»
Monte-Creto	0,53	1,22	98,25	»
Bocca-Suolo n° 1	2,32	1,52	96,16	»
— n° 2	2,38	0,30	97,32	»
Champ de Veta	1,51	2,14	96,35	»
San-Venanzio	0,52	10,16	89,32	»
Sassuolo	0,56	1,38	98,06	»
Salvarola	0,79	3,63	95,58	»
Pietramala-Vulcano	1,54	2,27	96,19	»
— Vulcanello	1,75	0,77	97,48	»
— Acqua Lerja	0,74	0,41	98,85	»
Bergullo	0,48	0,59	98,93	»
Riolo	1,01	1,64	97,35	»
Sassuno	1,14	0,39	80,60	17,87
San-Martino in Pedriollo	1,12	6,20	92,68	»
Porretta-Leone	5,97	4,61	89,42	»
— Gazomètre	2,52	1,57	95,91	»
— Bovi	5,72	2,06	92,22	»
— Marte	5,06	2,78	92,16	»
— Puzzola	1,84	6,68	91,48	»
— Vecchia	2,02	7,23	90,75	»
— Sasso-Cardo	2,05	3,13	94,82	»
Fosso di bagni	0,61	8,04	91,35	»
Gaggio-Montano	1,23	2,01	96,76	»

II. — Gaz provenant des lagonis de Toscane.

	HS	CO^2	Az	H	C^2H^4
Larderello	4,20	90,47	1,90	1,43	2,00
Castel-Nuovo	3,76	92,63	1,08	0,90	1,63
Sasso	5,43	88,33	1,56	2,01	2,55
Serrazzano	6,10	87,90	2,93	2,10	0,97

Aucun des gaz ne contient d'acétylène, ni de carbures de la série $C^{2n}H^{2n}$, ni d'oxyde de carbone.

On a considéré comme accidentelles les petites quantités d'oxygène trouvées dans certains échantillons.

§ III. — TRAVAUX DE CHIMIE INDUSTRIELLE.

25. *Préparation de l'oxygène et du chlore* ;
Par M. A. MALLET.

(*Comptes rendus*, t. LXIV, p. 226; t. LXVI, p. 349.)

Le protochlorure de cuivre Cu^2Cl absorbe rapidement l'oxygène de l'air, et se transforme en oxychlorure CuO . CuCl susceptible, lorsqu'il est chauffé à 400 degrés, de restituer l'oxygène absorbé et de se transformer en protochlorure Cu^2Cl, et ainsi de suite.

Pour appliquer cette réaction en grand, on se sert de cornues horizontales animées d'un mouvement de rotation; ce mouvement a pour effet d'égaliser la température dans la masse, et de renouveler les surfaces. Pour empêcher le chlorure de cuivre de fondre, on le mélange à une certaine proportion de matière inerte sable ou kaolin. La matière est un peu humectée. Alors l'absorption de l'oxygène de l'air est assez rapide ; trois ou quatre heures suffisent pour qu'elle soit complète à la température ordinaire. Mais si l'on chauffe la matière entre 100 et 200 degrés en présence de la vapeur d'eau, cette absorption est instantanée.

Il suffit ensuite de porter la température à 400 degrés pour que tout l'oxygène absorbé se dégage.

— Si l'on verse goutte à goutte de l'acide chlorhydrique sur du protochlorure de cuivre chauffé entre 100 et 200 degrés, en présence de l'air, il se dégage de la vapeur d'eau ; si les surfaces sont suffisamment renouvelées et l'accès de l'air assez grand, on sentira à peine l'odeur de l'acide chlorhydrique, et l'on parviendra dans un temps très-court à transformer tout le protochlorure de cuivre en bichlorure CuCl. Si l'on emploie l'acide chlorhydrique gazeux, renfermant de la vapeur d'eau, la réaction se fait encore mieux, pourvu que l'accès de l'air soit suffisant. Si l'on chauffe ce bichlorure en vase clos, il se transforme en protochlorure, et dégage du chlore.

Pour appliquer ce procédé en grand, on se sert des mêmes cornues rotatives que pour la préparation de l'oxygène ; elles sont seulement tapissées d'une couche de terre réfractaire à l'intérieur pour les préserver contre l'action corrosive de l'acide chlorhydri-

que. Comme pour la préparation de l'oxygène, la distillation et la révification se font dans le même appareil. On peut compter pratiquement que 100 kilogrammes de protochlorure de cuivre peuvent donner 3 à 3 1/2 mètres cubes d'oxygène, ou 6 à 7 mètres cubes de chlore; comme on peut faire quatre ou cinq opérations par vingt quatre heures, on voit que 100 kilogrammes de matières produiraient, dans cet intervalle de temps, 15 à 18 mètres cubes d'oxygène, ou 200 à 300 kilogrammes de chlorure de chaux.

Le prix de la matière première, qui peut servir indéfiniment, ne dépasse pas 1 franc le kilogramme; les pertes sont toujours très-faibles, car la matière ne sort pas des cornues.

---

26. *Préparation de l'oxygène;*

Par M. Tessié du Motay.

(*Extrait du rapport de* M. Balard *sur l'Exposition universelle de* 1867.)

En faisant passer au rouge un courant d'air sur un mélange de soude caustique et d'oxyde de manganèse à un degré quelconque d'oxydation, il se produit du manganate de soude. En laissant tomber la température à 400 degrés, puis faisant passer sur le manganate formé de la vapeur d'eau à 120 degrés, surchauffée de manière à ne pas entraîner de globules d'eau liquide, le manganate se décompose, et il se dégage de l'oxygène. Chauffant de nouveau au rouge en présence de l'air, le manganate se reforme, et ainsi de suite.

Au laboratoire de l'Exposition, on a pu faire soixante-dix-sept opérations successives sur la même matière, et la dernière a donné les mêmes résultats que la première.

M. Tessié du Motay opère dans des cornues horizontales garnies à l'intérieur d'espèces d'étagères, sur lesquelles le mélange est disposé. Des tuyaux amènent successivement dans ces cornues l'air ou la vapeur surchauffée.

---

27. *Recherches sur la combustion de la houille;*

par MM. Scheurer-Kestner et Meunier.

(*Comptes rendus*, t. LXVI, p. 1047 et 1220; t. LXVII, p. 659 et 1002; t. LXVIII, p. 608; t. LXIX, p. 412; t. LXXIII, p. 1061.)

Ces recherches, qui ont pour but l'étude physico-chimique de la

houille, sont divisées en trois parties : 1° étude chimique des gaz provenant de la combustion de la houille, et dosage des gaz combustibles et du noir de fumée ; 2° études calorimétriques : chaleur de combustion de la houille, relation entre la composition chimique et le pouvoir calorifique; 3° calculs et données pratiques; étude de la distribution du calorique dans le chauffage des générateurs à vapeur.

—1° Les recherches ont porté sur la houille de Ronchamp et sur des houilles du bassin de Saarbrück provenant de Friederichstahl, de Dutweiler, de Louisenthal et d'Altenwald.

On s'est attaché à n'opérer que sur des gaz puisés de telle façon que l'échantillon analysé représentât la moyenne des produits gazeux dégagés par quelques centaines de kilogrammes de houille. Des appareils spéciaux ont permis d'atteindre ce résultat (1).

L'échantillon moyen était recueilli dans un gazomètre à mercure de 3 litres de capacité.

L'analyse a été faite à la fois par la méthode des volumes et celle des pesées (méthode d'Ébelmen) ; seulement on a dû renoncer à la méthode employée par Ébelmen pour le dosage de l'oxygène, cette méthode ne donnant pas des résultats exacts lorsque les gaz analysés renferment des gaz combustibles autres que l'oxyde de carbone et l'hydrogène.

L'aspiration du gaz a eu lieu au moyen d'un tube de platine fendu sur une longueur de 75 centimètres; elle était assez puissante pour maintenir dans l'intérieur du tube une dépression de quelques millimètres de mercure et aspirer le gaz sur toute la longueur de la fente.

Généralement, on puisait environ la millième partie du volume total du gaz passant dans la cheminée. Le gazomètre à mercure puisait à son tour, sur le courant de gaz aspiré une fraction variant de $\frac{1}{250}$ à $\frac{1}{500}$ de son volume, de sorte que celui-ci renfermait comme échantillon moyen, environ $\frac{1}{500.000}$, du total des gaz de la combustion.

Le tableau suivant donne les résultats des analyses.

---

(1) Ces appareils sont décrits en détail dans les *Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse*.

NATURE de la houille.	AIR en excès p. 100.	COMPOSITION des gaz en centièmes.						CARBONE ET HYDROGÈNE contenus dans les gaz combustibles résultant de la combustion de 1 kilogramme de houille.								CENDRES p. 100 de houille.	TEMPÉRATURE des gaz à la sortie.	HOUILLE BRULÉE par heure et par décimètre quarré de grille.	QUANTITÉ de houille par charge.	FRÉQUENCE des charges.
		Gaz non combustibles			Gaz combustibles			Carbone						Hydrogène.						
								à l'état de CO		à l'état d'hydrocarbure.		total.								
		Az	CO^2	O	CO	C des hydrocarbures.	H total.	Quantités.	Centièmes (1).	Quantités.	Centièmes (1).	Quantités.	Centièmes (1).	Quantités.	Centièmes (2).					
								gr.		gr.		gr.		gr.			deg.	kil.	kil.	
Ronchamp. . . .	6,66	80,38	14,87	1,41	0,84	1,15	1,35	36,3	5,1	90,3	13,7	126,6	18,8	9,5	23,7	21	119	0,400	7	Chaque 5 minutes
Id.	10,47	80,00	14,16	2,18	0,97	0.98	1,11	42,4	6,05	87,7	12.5	130,1	18,55	7,4	18,5	21	128	0,470	14	— 8 —
Id.	13,32	80,66	14,63	2,80	0,86	0,49	0,56	38,6	5,5	44,9	6,4	83,5	11,9	4.2	10,5?	21	126	0,470	7	— 3 —
Id.	17,61	81,52	13.34	3,77	?	0,46	0,91	?	?	?	?	48,1	6,8	7,8	19,5	21	135	0,400	7	— 5 —
Id.	20,94	80,23	13,43	4,42	0,24	0,32	1,41	12,4	1,7	32,1	4,6	44,5	6,3	9,6	24,5	21	?	0,400	14	— 10 —
Id.	26,18	80,34	12,89	5,53	?	0,28	0,96	?	?	?	?	32,5	4,64	8,9	22,3	21	93,2	0,280	7	— 8 —
Id.	42,64	79,76	10,87	8,99	?	0,19	0,19	?	?	?	?	26,7	3,10	2,2	6,3	21	156	0,925	7	— 2 —
Id.	53.78	79,86	8,23	11,35	?	0,04	0,52	?	?	?	?	6,75	0,9	7,2	18,1	21	94	0,166	6	— 10 —
Friederichstahl.	21.85	80,09	13,75	4,59	»	0,71	0,86	»	»	»	»	74,18	10,60	7,45	18,60	18,48	137,3	0,450	»	»
Id.	35,29	80,72	11,30	7,43	»	0,29	0,26	»	»	»	»	33,66	4,81	2,50	6,21	18,48	»	0,450	»	»
Dutweiler. . . .	23,75	80,88	12,88	5,00	0,41	0,30	0,53	18,93	2,71	31,72	4,54	50,65	7,22	4.65	11,61	16,61	153,5	0,450	»	»
Louisenthal. . .	36,17	80,44	11,91	6,67	0,65	0,18	0,15	33,10	4,60	21,00	2,92	54,10	7,50	1,44	3,60	16,61	145,7	0,450	»	»
Altenwald. . . .	16,06	80,75	13,86	3,38	0,60	0,92	0,55	25,90	3,61	91,00	12,61	116,90	16,27	4,55	11,29	13,53	165,7	0,450	»	»

(1) Du carbone total contenu dans la houille.

(2) De l'hydrogène total contenu dans la houille.

Le noir de fumée entraîné par les gaz a été dosé de la manière suivante :

Un volume mesuré des produits gazeux de la combustion (50 à 100 litres), a été aspiré par un tube de verre rempli d'amiante : l'amiante retenait complétement le noir de fumée.

Le tube porté au rouge a été balayé par un courant d'oxygène, et l'acide carbonique formé, recueilli dans un tube à potasse et pesé.

Deux expériences ont été faites de cette manière sur la houille de Ronchamp, la première sur les produits de la combustion avec grand excès d'air, et la seconde sur ceux d'une combustion sans excès d'air.

Le noir de fumée recueilli dans la première expérience correspondait à 0,35 p. 100, et celui de la seconde, à 0,72 p. 100 du carbone total contenu dans la houille.

Le même dosage a été fait sur la houille d'Altenwald; les produits gazeux renferment 6,16 p. 100 d'oxygène en excès; le poids de noir de fumée correspondait à 0,2 p. 100 du carbone total de la houille. Les circonstances étaient celles de la combustion ordinaire.

Il résulte des analyses qui précèdent, que pour la houille de Ronchamp, la perte du carbone à l'état de gaz combustibles représente environ 20 p. 100 du carbone de la houille brûlée lorsque l'alimentation d'air est insuffisante, c'est-à-dire lorsque l'excès d'air est compris entre 6 et 10 p, 100; cette perte diminue considérablement et descend jusqu'à 4 ou 5 p. 100, lorsque cet excès d'air varie de 20 à 50 p. 100.

La perte de l'hydrogène est plus considérable ; elle oscille entre 10 et 20 pour 100 de l'hydrogène total de la houille, et dépend moins de l'alimentation ; en effet, le dégagement de l'hydrogène a lieu par distillation au moment de la charge.

Pour les houilles de Saarbrück, lorsque les gaz brûlés ne renferment que 16 à 20 pour 100 d'air en excès, ces gaz entraînent une perte de 10 à 16 pour 100 du carbone de la houille; cette perte n'est que de 6 à 8 pour 100 pour la houille de Ronchamp brûlée dans les mêmes conditions.

Pour l'hydrogène, c'est le contraire qui a lieu ; la perte est moindre que pour la houille de Ronchamp ; de sorte qu'une partie de la perte du carbone se trouve compensée par la diminution de la perte d'hydrogène

En résumé, il convient d'employer avec la houille de Saarbrück une alimentation d'air un peu plus considérable qu'avec la houille de Ronchamp.

En employant 10 à 12 mètres cubes d'air par kilogramme de houille, la première donne 3 à 7 pour 100 de perte sur le carbone, et 4 à 12 pour 100 de perte sur l'hydrogène; la seconde, 4 à 5 pour 100 sur le carbone et 10 à 20 pour 100 sur l'hydrogène.

Enfin, le dégagement du carbone à l'état de noir de fumée, tout en dépassant celui produit par la houille de Saarbrück, est de peu d'importance.

En général, on peut conclure de tout ce qui précède que la perte éprouvée par le dégagement du carbone à l'état de fumée ou de gaz combustible est moins considérable qu'on ne l'a dit, lorsque la combustion est bien conduite, et qu'il est peu probable que des foyers spéciaux puissent apporter une économie notable par suite de leur fumivorité.

— 2° Pour déterminer la chaleur dégagée par la combustion de la houille, on s'est servi du calorimètre à combustions vives de MM. Fabre et Silbermann, légèrement modifié dans quelques détails. Le thermomètre employé était très-sensible : il pouvait indiquer $\frac{1}{500}$ de degré.

La combustion de la houille présente des difficultés. On a reconnu qu'on parvient à éviter la formation de noir de fumée et d'hydrocarbure en employant comme gaz comburant, un mélange formé de 60 d'oxygène pour 40 d'azote. Il se produit un peu d'oxyde de carbone dont il a été tenu compte. De plus, il est toujours resté du coke au fond de la cartouche dans laquelle on opérait. Ce carbone non brûlé était dosé dans chaque expérience. De même il était tenu compte des hydrocarbures lorsque par hasard il s'en produisait (1).

Chaque échantillon de houille a été prélevé méthodiquement sur un tas de 20.000 kilogrammes, de manière à représenter la composition moyenne du tas. Ces échantillons étaient préalablement analysés.

En résumé, pour calculer les unités de chaleur développées par la combustion, il a été tenu compte des éléments suivants :

Poids du combustible employé ;

Poids du carbone non brûlé, considéré comme produisant 8080 calories par kilogramme ;

Poids des cendres ;

---

(1) Sur environ 3.000 calories produites dans les expériences, on n'en a jamais trouvé plus de 8 produites par l'hydrogène qui avait échappé à la combustion directe.

Poids de l'hydrogène et du carbone des hydrocarbures produits par la combustion;

Poids de l'oxyde de carbone, considéré comme produisant 2403 calories par kilogramme;

Élévation de température de l'eau du calorimètre;

Correction relative au réchauffement et au refroidissement. Cette correction a été déterminée une fois pour toutes par des expériences préliminaires.

Pour se rendre compte de l'exactitude qu'on pouvait atteindre dans les expériences, on a d'abord opéré sur du charbon de bois fortement calciné. La moyenne de quatre expériences a donné 8105 calories pour la chaleur de combustion de ce charbon. MM. Fabre et Silbermann ont trouvé 8080 : la différence n'est que de 3 millièmes.

Le tableau suivant donne les chaleurs de combustion obtenues directement sur un certain nombre d'échantillons et la composition de ces échantillons; il donne en outre la chaleur calculée d'après cette composition, la première colonne, en supposant que l'oxygène est tout entier combiné à de l'hydrogène; la deuxième, en négligeant complétement l'oxygène; la troisième et la quatrième, en supposant que cet oxygène est combiné à du carbone, et tout entier à l'état d'oxyde de carbone ou d'acide carbonique (1).

---

(1) Tous les nombres sont rapportés à la houille supposée pure et débarrassée de toutes ses cendres.

PROVENANCE des échantillons.	CHALEUR DE COMBUSTION calculée.				observée.	COMPOSITION DE LA HOUILLE.				COMPOSITION de la partie volatile.				CARBONE (1)	
	1	2	3	4		C	H	O	Az	C	H	O	Az	fixe.	des matières volatiles.
HOUILLES.															
Ronchamp	8866	9024	8956	8913	9163	89,96	5,09	3,67	1,28	63,41	18,58	13,12	4,89	80,67	19,33
Idem.	8407	8665	8554	8484	9117	88,38	4,42	6,00	1,20	59,10	15,47	24,18	4,25	81,00	19,00
Idem.	8341	8637	8510	8429	9081	87,43	4,56	6,87	1,14	55,98	16,28	23,74	4,00	81,70	18,30
Idem.	8567	8828	8716	8645	8946	87,49	5,10	6,05	1,35	50,49	20,19	23,98	5,34	85,42	14,58
Saarbrück.															
Duttweiler	7871	8359	8158	8030	8724	83,82	4,60	10,87	0,71	56,46	12,42	29,21	1,91	74,97	25,03
Altenwald	7837	8348	8129	7989	8633	83,14	4,73	11,85	0,66	53,79	12,99	31,36	1,86	76,32	23,68
Sulzbach	7906	8417	8195	8054	8603	83,05	4,95	12,00	»	49,70	14,68	35,62	»	79,84	20,16
Heinitz	7610	8127	7866	7700	8187	80,49	4,71	14,12	0,68	49,23	12,26	36,75	1,76	76,40	23,60
Von der Heydt	7699	8308	8058	7901	8462	81,56	4,98	13,46	?	52,73	12,76	34,51	?	74,72	25,28
Friedrichsthal	7311	7991	7699	7514	8457	78,97	4,67	15,77	0,59	49,40	11,24	37,94	1,42	74,00	26,00
Louisenthal	7056	7825	7495	7285	8215	76,87	4,68	17,85	0,60	47,80	10,79	40,03	1,33	73,05	26,95
Blanzy.															
Tout. v. de Montceau	7455	8153	7853	7663	8325	78,58	5,23	16,19	?	58,20	10,26	31,60	?	62,04	37,96
Anthraciteux	8303	8659	8506	8409	9111	87,02	4,72	8,26	?	49,01	18,54	32,45	?	85,65	14,35
Denain	7809	8310	8095	7958	9050	83,94	4,43	11,66	?	46,00	14,90	39,10	?	83,81	16,19
Anzin	7787	8275	8086	79[illegible]2	9257	84,45	4,21	11,32	?	31,80	18,70	49,50	?	91,44	8,56
Creuzot.															
Gras	8384	8670	8539	8453	8622	88,48	4,41	7,11	?	41,16	22,52	36,32	?	90,88	9,12
Anthracite	8553	8724	8650	8604	9456	92,36	3,66	3,98	?	34,50	34,30	31,20	?	95,66	4,34
Mi-grasse	8432	8683	8575	8507	9425	90,07	4,10	5,83		51,60	20,10	28,30	?	88,20	11,80
Maigre	8585	8797	8705	8647	9263	90,79	4,24	4,97	?	42,00	26,70	31,30	?	92,65	7,35
Pays de Galles.															
Bwlf	8462	»	»	»	8780	91,08	3,83	5,09	»	50,44	21,28	28,28	»	91,05	9,95
Powel	8608	»	»	»	8919	92,49	4,04	3,47	»	40,69	31,93	27,38	»	94,45	5,55
LIGNITES.															
Sec du Rocher-Bleu de Fudeau, près Aix (Bouches-du-Rhône).	6295	7270	»	»	6483	72,98	4,04	22,98	»	25,78	11,09	63,13	»	»	»
Gras de Manosque (B.-Alpes).	6533	7551	»	»	7363	70,57	5,44	23,99	»	43,91	10,87	45,72	»	»	»
Sec de Manosque (B.-Alpes).	5782	7006	»	»	6991	66,31	4,85	28,84	»	36,75	9,10	54,15	»	»	»
Gras de Bohême	8343	8599	»	»	7921	76,58	8,27	15,15	»	68,95	10,97	20,08	»	»	»
Passant au bois fossile (Bohême).	5159	6979	»	»	6358	66,51	4,72	28,77	»	32,56	9,60	57,94	»	»	»
Bois fossile passant au lignite (Bohême).	5827	7010	»	»	6311	67,60	4,55	27,85	»	33,28	9,38	57,34	»	»	»

(1) Pour 100 du carbone total.

Le fait qui frappe le plus dans l'examen de ces résultats, c'est que la chaleur de combustion observée directement pour les houilles est constamment supérieure à celle que donne le calcul, quelle que soit d'ailleurs la manière d'envisager l'oxygène.

Ce résultat montre que le carbone qui sort des combinaisons dans lesquelles il est engagé dans la houille, possède une chaleur de combustion plus forte que celle du carbone isolé; ce qui semblerait indiquer que sa combinaison a eu lieu primitivement avec absorption de chaleur. M. Berthelot a fait voir qu'il existe en effet des corps qui se combinent avec absorption de chaleur; ainsi, le cyanogène, qui dégage en brûlant complétement 270 000 calories par équivalent, en absorbe 82 000 au moment de sa formation. Si l'on tient compte de ce fait, et que l'on suppose l'azote de la houille à l'état de cyanogène, on reconnait que l'influence de cet élément ne peut guère dépasser 23 ou 24 calories sur 8 à 9 000 produites par un kilogramme de houille. Ce n'est donc pas là la cause unique de la différence signalée plus haut.

On voit aussi qu'il est impossible d'apprécier la valeur calorifique d'une houille d'après sa composition élémentaire; des houilles qui ont la même composition élémentaire peuvent en effet donner des résultats différents de 500 calories. Deux échantillons de Ronchamp et du Creuzot en donnent un exemple frappant. Leur composition élémentaire est donnée par les chiffres suivants :

	Ronchamp.	Creuzot.
Carbonne	88,38	88,48
Hydrogène	4,42	4,41
Oxygène et azote	7,20	7,11
	100,00	100,00

La chaleur de combustion de l'échantillon de Ronchamp est de 9 117 calories; celle de l'échantillon du Creuzot, de 9 622. Mais la similtude de composition disparaît lorsqu'on examine la composition immédiate des échantillons.

Les proportions de carbone fixe et de carbone des matières volatiles, pour 100 de carbone total, sont en effet les suivantes :

	Ronchamp.	Creuzot.
Carbone fixe	81,00	90,88
Carbone des matiéres volatiles	19,00	9,12
	100,00	100,00

Pour ces deux houilles, comme pour celles d'Anzin et de De-

nain, on trouve que la chaleur de combustion varie dans le même sens que la proportion de carbone fixe. C'est précisément l'inverse du résultat trouvé pour les houilles de Ronchamp et de Saarbrück; la comparaison des chiffres du tableau qui précède montre en effet que, pour ces deux bassins, la chaleur de combustion varie dans le même sens que la proportion de carbone volatilisable.

Pour les lignites, excepté dans l'un des cas où la proportion d'hydrogène est considérable, la chaleur de combustion observée est encore plus grande que celle calculée par la méthode de Dulong; la différence va jusqu'à un millier de calories; mais elle est constamment plus petite que la somme des chaleurs de combustion des deux éléments combustibles, carbone et hydrogène.

En résumé, la composition chimique d'un combustible minéral ne permet pas d'en juger la valeur au point de vue de la chaleur de combustion; les résultats obtenus par le calcul, d'après la méthode de Dulong, sont généralement beaucoup trop faibles.

— 3° A la suite des expériences qui précèdent, on a entrepris l'étude de la distribution du calorique dans les différents organes d'un générateur à vapeur.

On a expérimenté sur une chaudière à trois bouilleurs et six réchauffeurs, type très-connu et généralement adopté en Alsace. Ce générateur était bien monté; le rendement en eau vaporisée était des meilleurs qui aient pu être constatés dans ces dernières années.

La chaleur se trouve répartie ainsi qu'il suit :

Chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau;

Chaleur perdue par suite du dégagemement des gaz combustibles et du noir de fumée;

Chaleur perdue par suite des parties du combustible qui se perdent dans les cendres;

Chaleur sensible des produits gazeux de la combustion;

Chaleur ayant traversé les matériaux enveloppants, et perdue par conductibilité ou par rayonnement.

Il a été reconnu, par une expérience directe, que la chaleur perdue par suite de l'extraction des cendres et des escarbilles à la chaleur rouge est assez négligeable dans ces sortes d'expériences.

L'essai des différents combustibles sous le générateur a été poursuivi pendant plusieurs jours pour chaque sorte de houille; les nombres indiqués dans le tableau ci-dessous sont des moyennes. Ils sont plus dignes de confiance que ceux qui auraient pu être obtenus après quelques heures d'expérimentation; car on a fait dis-

paraître ainsi une foule de causes d'erreurs dont il est difficile de s'affranchir en faisant des essais de courte durée.

Les poids d'eau vaporisée, de combustible brûlé et de cendres recueillies ont été déterminés par un double contrôle. La houille et les cendres ont été analysées sur des prises d'essais méthodiques.

La température de la vapeur a été calculée d'après sa pression mesurée à l'aide d'un manomètre à air libre dont les deux niveaux étaient observés directement.

On a mesuré et analysé les produits gazeux de la combustion, et, par suite, déterminé la quantité d'air employée.

On a fait une dernière expérience en employant le charbon de bois comme combustible, dans le but d'avoir un contrôle pour les nombres fournis par les expériences faites sur la houille. Le charbon de bois ne donnant que peu de gaz combustibles d'une composition bien connue et pas de noir de fumée, les éléments du calcul sont moins nombreux et plus exacts, et les causes d'erreurs très-amoindries. On voit par les résultats consignés dans le tableau suivant que les nombres obtenus avec ce combustible s'accordent bien avec ceux donnés pour la houille.

Répartition de la chaleur produite par un kilogramme de combustible sous un générateur à vapeur (à trois bouilleurs et six réchauffeurs) (1).

DÉSIGNATION du combustible.	CHALEUR de la vapeur produite		CHALEUR sensible des produits gazeux de la combustion.		CHALEUR que produirait le noir de fumée.		CHALEUR que produiraient les gaz combustibles.		CHALEUR de la vapeur d'eau des gaz de la combustion.		CHALEUR totale.		Chaleur de combustion observée.	DIFFÉRENCE.		Rendement pratique en eau à 0° vaporisée.
	Nombre de calories.	Nombre proportionnel.	Nombre de calories.	Nombre proportionnel.	Nombre de calories.	Nombre proportionnel.	Nombre de calories.	Nombre proportionnel.	Nombre de calories.	Nombre proportionnel.	Nombre de calories.	Nombre proportionnel.		Nombre de calories.	Nombre proportionnel.	kilogr.
Ronchamp	5899	64,7	470	5,1	35	0,4	270	3,0	448	4,9	7122	78,1	9117	1995	21,9	9,16
Saarbrück :																
Friederichstahl	4986	59,0	372	4,4	63	0,7	262	3,3	498	5,9	6201	73,3	8457	2256	26,7	7,73
Duttweiller	5317	60,9	443	5,0	33	0,4	288	3,3	595	6,8	6676	76,4	8724	2048	23,6	8,25
Louisentahl	4698	57,2	315	3,8	61	0,7	295	3,7	838	10,2	6207	75,6	8215	2008	24,4	7,29
Altenwald	5323	61,3	481	5,6	34	0.4	303	3,5	438	5,1	6579	75,9	8633	2054	24,1	8,27
Heinitz	5050	59,5	443	5,2	49	0,5	268	3,1	273	3,2	6063	71,5	8487	2424	28,5	7,83
Sulzbach	4994	59,1	486	5,7	33	0.4	303	3,5	604	7,2	6420	75,9	8451	2031	24,1	7,76
Von der Heydt	4990	59.1	457	5,4	49	0,6	321	3,7	450	5,4	6267	74,2	8462	2195	25,8	7,72
Blanzy :																
Monceau	5067	60,8	476	5,7	62	0,7	325	3,9	624	7,5	6554	78,6	8325	1771	21,4	7,41
Anthraciteux	5520	60,6	702	7,7	35	0,4	288	3,1	500	5,5	7045	77,3	9100	2055	22,7	8,69
Creuzot	5900	61,6	691	7,3	35	0,4	224	2,3	247	2,4	7097	74,0	9412	2315	26,0	9,15
2/3 *Creuzot*, 1/3 *Ronchamp*	6230	66,9	619	6,5	36	0,4	346	2,6	228	2,4	7359	78,8	9310	1951	21,2	9,68
Charbon de bois	4822	60,5	852	10,5	0	0	0	0	168	2,1	5912	73,1	8080	2168	26,9	7,62

(1) Le combustible est supposé pur, c'est-à-dire privé de cendres et d'eau hygrométrique. Les nombres inscrits dans les colonnes « nombre proportionnel » expriment la fraction pour 100 de la chaleur totale dégagée par la combustion, relative à l'élément inscrit en tête de la colonne.

La différence entre le nombre de calories retrouvées dans les expériences et la chaleur de combustion des combustibles a été considérée comme représentant la chaleur perdue par rayonnement et conductibilité. On peut voir par les chiffres du tableau qui précède que cette perte est très-considérable, et représente le quart ou le cinquième de la chaleur produite. La constance du nombre qui représente cette perte donne une grande probabilité aux résultats énoncés.

---

28. *Sur les propriétés physiques et le pouvoir calorifique des pétroles et des huiles minérales;*

Par M. H. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE.

(*Comptes rendus*, t. LXVI, p. 442; t. LXVIII, p. 349, 485 et 686; t. LXXII, p. 191.)

Le tableau suivant résume les résultats obtenus par l'auteur dans ses recherches sur un grand nombre d'échantillons d'huile minérale. La chaleur de combustion a été déterminée en brûlant un poids assez grand d'huile dans une chaudière tubulaire disposée de telle sorte qu'on pût facilement évaluer les différents éléments de la chaleur totale produite, savoir : la chaleur absorbée par l'eau vaporisée, la chaleur entraînée par les gaz de la combustion, et la chaleur perdue par rayonnement et conductibilité ; on s'est attaché à ce que cette dernière portion fût le plus faible possible.

Les nombres sont rapportés à 1 kilogramme de matière.

PROVENANCE DES HUILES.	DENSITÉ à 0°	COEFFICIENT de dilatation.	COMPOSITION p. 100. C	H	O
1. Huile lourde de Virginie occidentale	0,872	0,00072	83,5	13,3	3,2
2. Huile légère de Virginie occidentale	0,841	0,000839	84,3	14,1	1,6
3. Huile légère de Pensylvanie	0,816	0,00084	82,0	14,8	3,2
4. Huile lourde de l'Ohio	0,887	0,000748	84,2	13,1	2,7
5. Huile lourde de Pensylvanie	0,886	0,000721	84,9	13,7	1,4
6. Huile américaine de pétrole du commerce de Paris	0,820	0,000868	83,4	14,7	1,9
7. Huile lourde de la Compagnie parisienne du gaz, extraite de la houille	1,044	0,000743	82,0	7,6	10,4(2)
8. Pétrole de Parme	0,786	0,00106	84,0	13,4	1,8
9. Huile de Java (résidence de Rembang)	0,923	0,000769	87,1	12,0	0,9
10. Huile de Java (résidence de Chéribon)	0,827	0,000923	83,6	14,0	2,4
11. Huile de Java (résidence de Sarabaya)	0,972	0,000652	85,0	11,2	2,8
12. Huile de Bechelbronn (Bas-Rhin) (distillée)	0,912	0,000767	86,9	11,8	1,3
13. Huile de Bechelbronn (naturelle)	0,968	0,000697	85,6	9,6	4,5(4)
14. Pétrole brut de Bechelbronn	0,892	0,000793	85,7	12,0	2,3
15. Pétrole de Schwabwiller (Bas-Rhin)	0,861	0,000858	86,2	13,3	0,5
16. *Idem*	0,829	0,000843	79,5	13,6	6,9
17. Huile de Gabiau (Hérault)	0,894	0,000687	86,1	12,7	1,2
18. Pétrole du Hanovre (Aedesse)	0,892	0,000772	80,4	12,7	6,9
19. Pétrole du Hanovre (Witze)	0,955	0,000641	86,2	11,4	2,4
20. Pétrole du Hanovre (Oberg)	0,944	0,000662	84,4	11,5	4,1
21. Pétrole de Gallicie (Ost Gallizien)	0,870	0,000813	82,2	12,1	5,7
22. Huile de Gallicie (West Gallizien)	0,885	0,000775	85,3	12,6	2,1
23. Pétrole de Circassie	0,940(7)	0,000696	85,3	11,6	3,1
24. *Idem*	0,887	0,000750	84,2	12,4	3,4
25. Pétrole de Valachie (Ploësti)	0,862	0,000808	82,6	12,5	4,9
26. *Idem*	0,901	0,000748	83,0	12,2	4,8
27. Pétrole noir de Parmesan (Marzolaro)	0,938	0,000716	84,9	11,4	3,7
28. Pétrole de Parme (Neviano di Rossi)	0,809	0,000903	81,9	12,5	5,6
29. Pétrole du Piémont (Réterbido)	0,919	0,000752	86,4	12,2	1,4
30. Pétrole de Zante	0,952	0,000673	82,6	11,8	5,6
31. Crude Petroleum Oil (Canada West)	0,828	0,000883	83,0	14,6	2,4
32. Bothwel (Canada West)	0,857	0,000868	84,3	13,4	2,3
33. Petrolia (Canada West)	0,870	0,000856	84,5	13,5	2,0
34. Crude Petroleum Oil (Canada West)	0,844	0,001	82,7	13,5	3,8
35. Pétrole de Virginie occidentale (puits Gutherie Wall, à Roger's Gulch)	0,857	0,000788	83,2	13,2	3,6
36. Pétrole de Virginie occidentale (puits Mecook Wall, à Roger's Gulch)	0,897	0,000704	83,6	12,9	3,5
37. Huile de Birmanie (Rangoon)	0,875	0,000774	83,8	12,7	3,5
38. Pétrole de Chine (Foo-choo-Foo)	0,860	0,000824	83,5	12,9	3,6
39. Huile brute des schistes de Vagnos (Ardèche)	0,911	0.000896	80,3	11,5	8,2(1)
40. Huile de schiste d'Autun (usine du Ruel)	0,870	0,000859	79,7	11,8	8,6
41. Huile lourde de pins	0,985	0,000685	87,1	10,4	2,5
42. Usine de la Condamine :					
Huile brute de schiste	»	»	»	»	»
Huile dégoudronnée par une première distillation	»	»	»	»	»
Huile lourde recueillie à la fin de la première distillation	»	»	»	»	»
43. Usine de M. Cogniet, à Nanterre :					
Huile d'ozokérite	»	»	»	»	»
Huile minérale de déparaffinée	»	»	»	»	»
Huile lourde de schistes	»	»	»	»	»
Huile brute de schistes	»	»	»	»	»
Huile des résidus acides	»	»	»	»	»
44. Naphte brut des puits de Balchamy (Caucase)	0,882	0,000817	87,4	12,5	0,1
Résidu de distillation des usines de Bakou (Caucase)	0.928	0,000910	87,1	11,7	1,2
Huile noire de l'usine Weyser de Bakou	0,897	0,000737	86,5	12,0	1,5
Huile légère de Bakou	0.884	0,000724	86,3	13,6	0,1
Huile lourde de Bakou	0,938	0.000681	86,6	12,3	1,1

(1) Cette huile ne distille qu'aux environs de 350 degrés.

(2) Ce chiffre donne la somme des trois éléments : oxygène, azote et soufre.

(3) A 264 degrés, la perte est de 25,0 p. 100.

(4) Il y a, en outre, 0,25 d'azote et 0,05 de cendres.

(5) Rien ne distille au-dessous de 200°; à 300 degrés, la perte est de 14,0 p. 100.

(6) L'auteur n'a pu rechercher le pouvoir calorifique que sur les échantillons dont il possédait une quantité suffisante.

PERTE POUR 100 PAR LA CHALEUR A										POUVOIR CALORIFIQUE.		DIFFÉRENCE.
110°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	250°	280°	300°	observé (6).	calculé d'après la loi de Dulong.	
1,0	»	1,3	»	12,0	»	»	»	»	»	10180	11192	1012
1,3	4,3	11,0	17,7	25,2	28,5	»	»	»	»	10223	11581	1368
4,3	10,7	16,0	23,7	28,7	31,0	»	»	»	»	9963	11588	1625
»	»	»	»	»	»	»	»	»	» (1)	10399	11089	1310
»	»	»	»	»	»	0	»	12,0	»	10672	11519	847
2,8	5,3	12,0	19,8	25,4	30,3	»	»	»	»	9771	11721	1950
»	»	0	»	»	12,5	»	»	»	»	8916	»	»
1,1	9,3	33,3	39,5	60,5	69,3	»	»	»	»	10121	11329	1208
1,0	1,0	»	»	7,7	15,0	22,3	28,3	»	»	10831	11138	307
0,8	3,0	9,3	16,3	22,0	27,8	»	»	»	»	9593	11476	1883
»	»	»	»	»	0	2,3	7,0	17,7	28,3	10183	10952	769
»	»	»	»	»	4,1	8,3	»	»	» (3)	9708	11022	1314
»	»	»	»	»	»	»	»	0	»	»	»	»
»	»	»	»	»	15,0	25,0	37,3	»	»	10020	10922	902
»	»	»	»	»	15,0	»	28,7	»	»	10458	11514	1056
»	»	»	5,6	14,6	22,0	34,3	42,7	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	0 (5)	14,0	»	»	»
0,5	2,7	5,0	»	»	11,0	14,0	19,0	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	5,4	»	16,3	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	8,6	»	»	»	»	»
2,1	4,6	8,7	13,7	14,3	21,7	25,3	32,3	»	»	10005	10570	565
1,0	4,0	9,8	14,3	23,3	27,0	30,7	36,7	»	»	10231	11148	917
»	»	»	1,0	1,3	2,0	2,7	10,0	21,3	»	»	»	»
3,3	8,7	15,7	19,3	24,0	27,7	32,7	34,7	»	»	»	»	»
»	5,4	11,8	17,8	23,8	29,2	34,6	41,6	»	»	»	»	»
»	0,7	3,3	6,0	10,7	15,3	19,3	26,7	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	7,7	»	17,9	»	»	»	»	»
1,8	16,2	30,9	54,9	65,6	75,4	79,8	88,6	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	7,5	9,0	29,7	» (8)	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	9,7	»	»	»
»	»	»	6,0	14,7	19,7	28,1	» (9)	»	»	»	»	»
»	»	»	12,0	»	19.4	»	32,0	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	25,0	»	37,1	»	»	»	»	»
»	»	»	»	6,0	»	»	28.2	»	»	»	»	»
1,4	»	»	»	»	21,1	23,4	30,7	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	8,9	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	13,3	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	» (10)	»	60,8	»	»	»	»	»
» (12)	»	»	»	»	»	»	42,0	»	»	9046	10127	1081
4,0	6,7	12,7	17,3	24,7	31,0	38,0	44,7	»	»	9950	10127	177
»	»	»	»	»	»	»	»	»	0	10081	10518	437
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	9476	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	9293	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	9612	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	10648	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	10172	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	9654	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	8623	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	9636	»	»
1,0	»	»	5,0	9,3	14,0	15,3	»	37,0	41,3	»	11370	»
»	»	»	»	»	»	»	1,5	4,3	7,7	»	11000	»
»	»	»	»	»	2,3	»	»	22,3	33,7	»	11060	»
»	»	2,7	7,0	13,3	»	19,0	»	36,7	73,3	11460	11660	200
»	»	»	»	»	1,0	1,3	»	6,0	9,7	10800	11200	400

(7) Ce chiffre indique la densité à 20 degrés.
(8) A 270 degrés, la perte est de 52.3 p. 100.
(9) A 260 degrés, la perte est de 35,8 p. 100.
(10) A 190 degrés, la perte est de 28,0 p. 100 ; à 210 degrés, elle est de 41,6 p. 100.

(11) Il y a beaucoup d'azote, dont le poids est compris dans ce chiffre.
(12) A 170 degrés, la perte est de 4 p. 100 ; à 190 degrés, de 7,7 p. 100 ; à 210, de 20 p. 100.

On voit par les chiffres qui précèdent, que la chaleur de combustion des huiles minérales, à l'inverse de ce qui se passe pour les houilles, est toujours notablement plus faible que celle que donne la méthode de Dulong; l'écart est souvent supérieur à 1 000 calories.

---

29. *Extraction du brome et de l'iode.*

(*Extrait du rapport de* M. Balard *sur l'Exposition universelle de* 1867.)

Après le dépôt des sels d'été dans les marais salants, les eaux-mères, chargées surtout de chlorure de magnésium et de sulfate de magnésie, renferment en outre des bromures qui s'y sont concentrés par les évaporations successives. Elles tiennent environ 5 à 6 kilogrammes de brome par mètre cube.

Pour en extraire ce brome, on les chauffe à 125 degrés, température de leur ébullition, puis on les fait écouler dans un vase peu profond où elles sont traitées par de l'acide sulfurique; il se produit une effervescence due à de l'acide carbonique qui se dégage; lorsque l'effervescence est terminée, on fait arriver les eaux dans un vase en pierre siliceuse muni d'un tube d'échappement conduisant à un réfrigérant plein d'eau. On ajoute du peroxyde de manganèse tendre qu'on a déjà fait bouillir avec de l'eau pour en chasser les gaz dans le but de diminuer autant que possible l'effervescence due à la réaction; puis on chauffe la liqueur par un jet de vapeur d'eau. Le brome se dégage en vapeurs rouges, et se condense dans le réfrigérant. On ajoute de l'acide et du manganèse de temps en temps jusqu'à ce qu'une addition de ces réactifs ne produise plus de dégagement de vapeur de brome, ce dont on s'aperçoit bien, à travers les parois de verre du tube de dégagement et du réfrigérant. On écoule alors le liquide et l'on recommence l'opération.

Pour recueillir le brome qui échapperait à la condensation dans le réfrigérant, les vapeurs, en sortant de ce dernier, traversent une colonne remplie de fer ou de zinc; le brome qu'elles contiennent forme des bromures que l'on enlève par lixiviation.

Les eaux-mères des salines de Stassfurt sont, comme celles des marais salants, riches en brome, et ne renferment pas d'iode; elles sont exploitées par la méthode qui vient d'être décrite. La production annuelle de brome à Stassfurt atteint 10 000 kilogrammes.

Comme le maniement et le transport de ce corps ne sont pas sans danger, on le vend souvent sous forme d'éther bromhydrique que l'on prépare en distillant du bromure de potassium avec un mélange d'alcool et d'acide sulfurique.

L'iode, que l'on ne rencontre qu'en traces dans les eaux-mères des salines, se trouve au contraire en quantité appréciable dans les cendres de varechs et dans le nitre brut du Pérou. Les cendres de varechs lessivées fournissent des eaux que l'on évapore pour en retirer le sulfate de potasse, le chlorure de potassium et le chlorure de sodium qu'elles contiennent; les eaux-mères qu'on produit sont riches en iode, et renferment aussi du brôme. Lorsque cette évaporation se fait à feu nu, il se produit des dépôts adhérents dans les chaudières, et une notable portion de l'iode et du brome est perdue. C'est pour éviter ce double inconvénient que l'on a pris le parti d'évaporer en chauffant à la vapeur.

Mais la plus grande cause de perte de l'iode et du brome réside dans la carbonisation même des varechs. Pour l'éliminer autant que possible, voici comment on opère à Noirmoutiers. Les varechs recueillis dans la jonrnée sont suspendus à un support en fil de fer ressemblant à une cage de crinoline. On allume des varechs séchés sur une grille placée au centre de cet appareil, et on alimente le feu avec des varechs frais. De cette manière, la carbonisation est très-lente, les pertes d'iode et de brome sont faibles et les sulfates sont peu attaqués; par suite la proportion de sulfure est faible dans les eaux de lavage. Le charbon ainsi obtenu est lessivé; le résidu est utilisé comme combustible. L'île de Noirmoutiers produit par semaine environ 1 000 hectolitres de charbon de varechs.

Les eaux-mères iodées et bromées sont traitées par l'acide sulfurique chargé de vapeurs nitreuses; l'iode seul se précipite; elles sont ensuite agitées dans des appareils fermés avec des carbures d'hydrogène vendus dans le commerce sous le nom de benzine; après agitation, la benzine, qui a dissout tout l'iode produit, est rassemblée, séparée du liquide, et agitée de nouveau avec de la soude caustique en dissolution; il se forme alors de l'iodure de sodium qui se dissout. La benzine, séparée de la dissolution d'iodure peut servir à l'extraction d'une nouvelle quantité d'iode. Lorsque l'iode est ainsi séparé, on concentre les liqueurs jusqu'à ce qu'elles tiennent 8 à 10 p. 100 de brôme; les vapeurs produites pendant cette concentration entraînent un peu de brome; c'est pourquoi on les fait passer à travers une dissolution de soude caustique.

Ainsi concentrées, les eaux bromées sont ensuite traitées par

l'acide sulfurique et le manganèse, comme il a été dit plus haut.

Les nitres bruts du Pérou et du Chili renferment une quantité sensible d'iode à l'état d'iodates qui se concentrent dans les eaux-mères après la cristallisation de l'azotate de soude.

Pour extraire cet iode, on traite les eaux-mères par de l'acide sulfureux et du bisulfite de soude en quantité strictement nécessaire pour décomposer les iodates ; si l'on mettait un excès de ces réactifs, l'iode passerait à l'état d'iodure, et serait perdu.

Dans ce traitement, l'acide iodique est remplacé par l'acide sulfurique ; comme les eaux-mères servent de nouveau à dissoudre du nitre brut, on pourrait craindre d'introduire des sulfates dans le nitre dissout ; il n'en est rien, à cause de la petite quantité de sels de chaux contenue dans le nitre brut, et qui fait que l'acide sulfurique se précipide en grande partie à l'état de sulfate de chaux.

Ce mode de traitement est appliqué à Tarapaca, qui, produit près de 200 tonnes de nitre par jour. Mais par suite de l'inexactitude et du petit nombre des essais qui doivent servir à déterminer la quantité de réactifs à employer, on ne retire là que 40 p. 100 de l'iode contenu.

---

30. *Préparation industrielle des composés fluorés.*

(Extrait du Rapport de M. BALARD *sur l'Exposition universelle de 1867.)*

Acide fluosilicique. — M. Tessié du Motay d'une part, et M. Bothe de l'autre, ont reconnu qu'en chauffant dans une cornue un mélange de silice, de spath fluor et de charbon, on obtient du fluorure de silicium et de l'oxyde de carbone.

Pour appliquer en grand cette réaction, M. Tessié du Motay a construit un haut fourneau de 10 à 12 mètres de hauteur, dans lequel il charge un mélange de spath fluor, de silice, d'alumine et de charbon, de manière à obtenir un laitier fusible et du fluorure de silicium. Les gaz qui s'échappent du gueulard de ce haut-fourneau sont conduits dans des cuves de condensation, de forme rectangulaire, dans lesquelles sont disposées des lames de verre inclinées et sur lesquelles coule de l'eau qui présente ainsi une grande surface de contact avec le gaz. Cette eau agit sur le fluorure de silicium : il se produit de l'acide fluosilicique et de la silice gélatineuse se précipite.

Il n'est guère possible de concentrer la dissolution au-delà de 10° B. Le plus souvent, on se contente de l'amener à 5° B. A cet

état, 100 litres équivalent, comme réaction acide, à 9 kilogrammes d'acide sulfurique des chambres ; mais leur prix de revient dépasse 2 francs.

Les laitiers obtenus retiennent 15 à 20 p. 100 du fluor employé dans le lit de fusion.

Fluosilicates alcalins. — Si l'on ajoute de l'acide fluosilicique à une dissolution saturée de chlorure de potassium (100 litres d'acide à 5° B. pour 7 kilogrammes de chlorure), il se produit un précipité de fluosilicate de potasse ; l'acide chlorhydrique reste dans la liqueur. On laisse reposer, puis on décante. Le fluosilicate alcalin est ensuite placé sur un feutre et égoutté ; on le sèche ensuite en le mettant sur une sole de briques chauffée par dessous.

Ce produit, vendu 120 francs les 100 kilogrammes, c'est-à-dire beaucoup moins cher que le borax, peut être substitué à ce dernier dans la fabrication du cristal.

Le fluosilicate de soude, qui peut être obtenu par le même procédé, sert pour la couverte de certaines poteries, porcelaines tendres ou faïences anglaises.

Si l'on chauffe un fluosilicate alcalin dans une cornue à gaz, il se produit du fluorure de silicium qu'on recueille, et du fluorure alcalin. Ce fluorure, traité par la chaux vive ou le carbonate de chaux, donne du fluorure de calcium, qui pourra rentrer dans la fabrication, et de l'alcali caustique.

Gravure sur verre. — Si l'on attaque le verre par l'acide fluorhydrique liquide, il se produit des surfaces brillantes ; l'acide gazeux donne au contraire des surfaces mates et dépolies ; mais le dépoli n'est pas assez épais ; de plus il est irrégulier ; cela tient aux petites gouttelettes d'eau qui se forment sur le verre, absorbent de l'acide fluorhydrique, et attaquent alors l'objet en laissant une trace brillante. MM. Tessié du Motay et Maréchal ont reconnu qu'on obtenait un dépoli épais et régulier en attaquant le verre par du fluorhydrate de fluorure de silicium.

M. Tessié du Motay prépare l'acide fluorhydrique nécessaire pour cette opération en décomposant le fluosilicate de baryte obtenu par le traitement direct du sulfure de baryum par l'acide fluosilicique. Ce fluosilicate, chauffé, donne du fluorure de silicium et du fluorure de baryum ; ce dernier, traité par l'acide sulfurique, produit l'acide fluorhydrique.

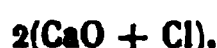
Le fluosilicate de chaux soumis à l'action de la chaleur, se comporte comme celui de baryte. Il pourrait être expédié comme matière première dans les fabriques qui ont besoin d'acide fluorhydrique.

31. *Sur le chlorure de chaux*;

Par M. J. Kolb.

(*Comptes rendus*, t. LXV, p. 530.)

D'après les travaux de MM. Balard et Gay-Lussac, on a été amené à donner au chlorure de chaux la formule suivante :



$$2(CaO + Cl),$$

et à le considérer comme un mélange d'hypochlorite de chaux et de chlorure de calcium



$$CaO \,.\, ClO + CaCl.$$

Le chlorure sec le plus riche à l'essai chlorométrique correspond exactement à la formule



$$2Cl, 3(CaO \,.\, HO).$$

Ce chlorure se dédouble nettement en présence de l'eau, et produit de la chaux, qui se précipite, et une dissolution dont la composition est représentée par la formule donnée par M. Balard, si elle est suffisamment étendue :



$$2Cl, 3(CaO \,.\, HO) = CaO \,.\, HO + 2(CaO + Cl).$$

Mais si la dissolution est concentrée, elle n'a plus la même composition. Si en effet on évalue son titre chlorométrique par le procédé de Gay-Lussac, et que l'on dose le chlore total par les sels d'argent, après avoir transformé l'hypochlorite en chlorure, les résultats ne sont pas du tout concordants comme dans le cas de la dissolution étendue ; le second est plus fort que le premier, ce qui prouve que tout le chlore ne peut être considéré comme actif, et qu'il y a en excès du chlorure de calcium. Il en résulte qu'on doit considérer la matière dissoute comme un mélange et non comme une combinaison, car sa composition varie avec la concentration de la liqueur, ce qui s'explique très-bien par la différence de solubilité qui existe entre l'hypochlorite et le chlorure.

Sous l'influence de la chaleur, le chlorure solide et sec se transforme en chlorate de chaux ; cette réaction, tout en exigeant de la chaleur pour se produire, en dégage elle-même ; c'est ce qui explique comment elle peut avoir lieu de proche en proche dans toute une masse de chlorure dont on ne chauffe qu'une partie. Dans cette transformation, le produit devient pâteux.

Le chlorure liquide est plus stable ; on peut le faire bouillir quelquefois plusieurs heures sans le modifier.

L'insolation n'a qu'une inufluence insignifiante sur le chlorure sec ; elle agit au contraire sur le chlorure liquide, en transformant partiellement l'hypochlorite en chlorite :



$$2(CaO . ClO + CaCl) = CaO . ClO^3 + 3CaCl.$$

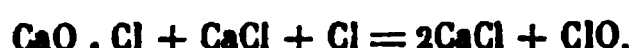
L'acide carbonique, agissant sur la dissolution étendue de chlorure de chaux, qu'on peut appeler chlorure de chaux liquide, la décompose, et donne lieu à un dégagement d'acide hypochloreux, et à la formation de carbonate de chaux.

Si le gaz est desséché, et qu'on le fasse agir sur du chlorure solide et parfaitement sec lui-même, il ne se dégage que du chlore et pas d'acide hypochloreux. Mais si la réaction se fait en présence de l'eau ou de l'humidité, on obtient de l'acide hypochloreux.

Cette différence d'action de l'acide carbonique sur le chlorure liquide et le chlorure solide semble indiquer que ce dernier n'a pas la même constitution que le premier, et qu'il doit être au contraire considéré réellement comme un chlorure de chaux, CaO. Cl. L'acide carbonique chasserait dans les deux cas l'acide hypochloreux et le chlore de leurs combinaisons avec la chaux.

Le chlore gazeux n'a aucune action à froid sur le chlorure de chaux sec.

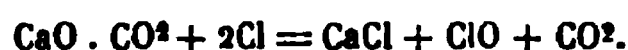
Avec le chlorure liquide, il se produit du chlorure de calcium et de l'acide hypochloreux qui se dégage :



$$CaO . Cl + CaCl + Cl = 2CaCl + ClO.$$

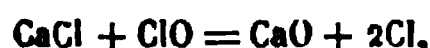
Cette réaction permet de préparer l'acide hypochloreux d'une façon très-commode.

Cet acide hypochloreux peut aussi être préparé par l'action du chlore sur le carbonate de chaux en présence de l'eau :



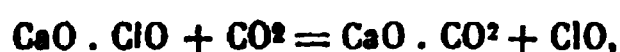
$$CaO . CO^2 + 2Cl = CaCl + ClO + CO^2.$$

Ces deux modes de préparation prouvent que l'acide hypochloreux ne peut réagir sur le chlorure de calcium pour donner du chlore et de la chaux d'après la formule

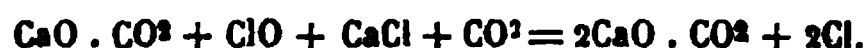


$$CaCl + ClO = CaO + 2Cl,$$

comme on l'avait dit pour expliquer l'action de l'acide carbonique sur le chlorure sec, d'après les deux formules :



$$CaO . ClO + CO^2 = CaO . CO^2 + ClO,$$



$$CaO . CO^2 + ClO + CaCl + CO^2 = 2CaO . CO^2 + 2Cl.$$

L'action des acides sur le chlorure liquide peut-être formulée ainsi :

1° Tous les acides déplacent l'acide hypochloreux.

2° La réaction s'arrête là si l'acide hypochloreux ne rencontre ni acide chlorhydrique ni acides ou autres substances oxydables.

3° Dans le cas contraire, l'acide hypochloreux se décompose avec dégagement de chlore.

---

32. *Sur les hypochlorites et les chlorures décolorants*; Par M. A. Riche.

(*Comptes rendus*, t. LXV, p. 580.)

M. Riche s'est proposé d'étudier comparativement l'action de la lumière solaire sur les hypochlorites préparés directement à l'aide de l'acide hypochloreux et des bases, et sur les chlorures décolorants obtenus par l'action du chlore sur ces mêmes bases.

Il a reconnu que dans tous les cas il y avait formation d'acide chloreux et d'acide chlorique, et dégagement d'oxygène.

Pour les hypochlorites, ce dégagement est d'autant plus rapide qu'ils renferment, pour une même quantité d'acide hypochloreux, une plus grande quantité de base.

Il en est de même pour les chlorures décolorants : ils se décomposent d'autant plus rapidement qu'ils sont plus basiques.

M. Riche considère ces faits comme vérifiant la théorie de M. Balard qui consiste à assimiler les chlorures décolorants aux hypochlorites.

---

33. *Sur la fabrication du chlorure de chaux.* Par M. Scheurer-Kestner.

(*Comptes rendus*, t. LXV, p. 894.)

Les expériences suivantes avaient pour but de déterminer l'élévation de température qui a lieu dans la masse de chaux hydratée soumise à l'action du chlore, et l'influence de cette température sur le degré chlorométrique du produit obtenu.

Une caisse remplie d'hydrate de chaux a été placée dans une chambre à chlorure, dans les conditions ordinaires de la préparation du chlorure de chaux ; sur une des faces latérales de cette caisse, on avait ménagé huit ouvertures par lesquelles on introduisit dans la masse huit thermomètres à maxima de Walferdin. Ces ou-

vertures étaient à des hauteurs différentes, et à égale distance verticale les unes des autres.

L'opération terminée, on enlevait le chlorure produit en huit tranches correspondantes aux huit thermomètres. On faisait la lecture de ces derniers, et on déterminait le degré chlorométrique de chacune des huit tranches.

Les tableaux suivants donnent les résultats de deux séries d'expériences.

ÉPAISSEUR TOTALE de la couche.	PREMIÈRE tranche.		DEUXIÈME tranche.		TROISIÈME tranche.		QUATRIÈME tranche.		CINQUIÈME tranche.		SIXIÈME tranche.		SEPTIÈME tranche.		HUITIÈME tranche.	
	Température maxima.	Degré.	Température maxima.	Degré.	Température maxima.	Degré.	Température maxima.	Degré.	Température maxima.	Degré.	Température maxima.	Degré.	Température maxima.	Degré.	Température maxima.	Degré.
centim.	degrés.		degrés.		degrés.		degrés.		degrés.		degrés.		degrés.		degrés.	
7	49,5	108	50,0	114	?	114	52,0	116	53,0	118	?	110	39,0	0		
6	24.0	104	24,0	105	24,5	114	24,5	116	53,2	116	53,2	118				
10	55,0	114			55,2	116			49,6	118			44,0	120	41,0	0
10	30,0	118			30,0	120			45,0	125			50,0	120	39,0	0
10	49,5	112	50,2	116	52,0	120			40,0	45	?	0	41,5	0	47,5	0

Dans les deux premières expériences, l'hydrate de chaux employé renfermait un excès d'eau ; dans les trois dernières, l'hydrate était monohydraté.

NUMÉROS DES ESSAIS.		1	2	3	4	5	6	7
Degré	Première tranche. .	108	110	118	120	114	113	110
	Deuxième tranche. .	118	122	122	123	122	124	124

Dans toutes ces expériences, le gaz avait été refroidi avant de se rendre dans les appareils, de manière que sa température ne dépassât que de quelques degrés celle de l'atmosphère.

La chaleur observée est due à la réaction du chlore sur la chaux hydratée, elle est en raison de la vitesse avec laquelle arrive le gaz.

Si l'on fait arriver un grand excès de chlore dans un flacon dont le fond est recouvert par une couche d'hydrate de chaux, la température s'élève rapidement à 80 ou 90°; mais alors le produit obtenu est en voie de décomposition; il verdit la dissolution arsénicale d'indigo et la décolore avant l'oxydation de l'acide arsénieux.

Dans la troisième expérience, la température s'est élevé à 55°,2, sans que le degré chlorométrique s'abaissât pour cela ; et on peut voir par le tableau ci-dessus, que les températures les plus élevées correspondent en général aux titres les plus forts. Il est donc démontré par là que s'il faut éviter un trop fort dégagement de chaleur dans la réaction, une certaine élévation de température est favorable à la richesse du produit obtenu.

D'un autre côté, un excès de chlore abaisse le titre chlorométrique du chlorure une fois qu'il a atteint le maximum de chloruration, même quand il n'y a pas surélévation de température. C'est ce qui résulte bien clairement des chiffres des tableaux ci-dessus. La tranche supérieure, en contact immédiat avec le gaz, a accusé constamment un degré chlorométrique plus faible que celles qui viennent immédiatement au-dessous. Cette tranche supérieure décolore l'indigo comme du chlorure partiellement décomposé, avant la réduction complète de l'arséniure, et pour en prendre le titre exact, il est nécessaire d'ajouter de la dissolution d'indigo, chaque fois qu'il y a décoloration, jusqu'à ce que cette décoloration persiste.

On peut voir aussi par les chiffres du tableau, qu'un excès d'eau dans l'hydrate de chaux employé est nuisible à la richesse du produit. Les chlorures des deux premières expériences sont en effet plus pauvres que ceux des trois dernières.

---

34. *Sur la régénération du manganèse dans la préparation du chlore ;*

Par M. Walter Weldon.

(*Chemical New's*, 1869.)

M. Weldon avait d'abord proposé de préparer, à l'aide des résidus de la fabrication du chlore, une dissolution neutre de chlorure de manganèse, en précipitant le fer de ces résidus par le carbonate de chaux en excès, puis de précipiter le manganèse de cette dissolution par la chaux hydratée, de manière à obtenir du chlorure de calcium et du protoxyde de manganèse. En séparant ce dernier et l'oxydant à l'aide d'un courant d'air forcé qui traversait sa masse, on l'amenait à l'état d'oxyde intermédiaire de manganèse qui pouvait servir à la préparation du chlore ; cet oxyde pouvait être considéré comme renfermant 55 p. 100 de peroxyde.

En poursuivant ses recherches, M. Weldon reconnut qu'en ajou-

tant à la dissolution de chlorure de manganèse, une quantité de chaux double de celle qui serait suffisante pour précipiter tout le manganèse, et qu'en insufflant de l'air à travers le mélange ainsi produit de protoxyde de manganèse et de chaux, l'oxydation marche bien plus rapidement, que tout le manganèse passe à l'état de bioxyde, mais que ce bioxyde est combiné avec la chaux dans le composé $MnO^2 . CaO$.

Tout le manganèse se trouve ainsi régénéré à l'état de bioxyde, mais à cause de la présence de la chaux, il faut employer trois équivalents d'acide chlorhydrique pour produire un équivalent de chlore.



$$CaO . MnO^2 + 3HCl = CaCl + MnCl + 3HO + Cl.$$

On sait qu'avec le manganèse naturel, deux équivalents d'acide suffisent. Cependant, en pratique, la différence n'est pas si grande; la combinaison de chaux et de bioxyde de manganèse s'attaque très-facilement, et il n'est pas nécessaire d'employer un excès d'acide chlorhydrique, comme dans l'attaque du bioxyde naturel. M. Weldon estime que le prix de revient de son manganèse régénéré est de beaucoup inférieur à celui du manganèse naturel. L'expérience en grand permettra seule d'apprécier exactement cet avantage. S'il en était ainsi, ce procédé de régénération du manganèse pourrait devenir le complément naturel du traitement des résidus de soude et de chlore l'un par l'autre.

---

35. *Sur le salant;*

Par M. E.-P. Bérard.

(*Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXIII, p. 459.)

L'auteur s'est spécialement occupé du salant qui se produit en abondance dans la plaine d'Agde, formée par les alluvions de l'Hérault, plaine d'une grande fertilité, et dans laquelle la terre végétale atteint 2 à 3 mètres d'épaisseur. Cette terre ne renferme pas un caillou ; elle est pâteuse après la pluie, et si la sécheresse survient rapidement, elle devient très-compacte, et la charrue la divise en mottes énormes.

Voici quelles sont les connaissances empiriques des agriculteurs sur le salant de la plaine d'Agde :

1° Le salant s'accumule dans les terres pendant les années de longue sécheresse.

2° Le piétinement des hommes ou des bestiaux le fait apparaître.

3° Certaines pièce de terre n'en sont jamais atteintes, et pourtant le sol de la plaine est d'une parfaite uniformité; dans d'autres champs très-fertiles, il se montre par plaques en général de forme arrondie.

4° Ces plaques de salant disparaissent sous l'influence d'une bonne culture, surtout quand on ameuble le sol au moyen de balles d'avoine ou autres débris végétaux.

5° Une inondation de l'Hérault fait disparaître les plaques de salant. On entoure les champs d'une sorte de bordure en terre, qui en fait des bassins où l'eau séjourne; en filtrant au travers du sol, cette eau *enfonce* le sel.

6° Certains champs, entourés d'autres très-fertiles, soit qu'ils aient été négligés, soit pour toute autre cause, sont complétement envahis par le salant, et leur culture devient impossible.

Le tableau suivant donne les résultats des recherches faites par l'auteur.

DÉSIGNATION des échantillons examinés.		MATIÈRES SOLUBLES pour 100 de terre.		
Terre prise à la surface du sol.	Champ nommé le *Grand-Salant*, près Agde (*).	7,440, contenant.	chlorure de sodium.	6,163
			sulfate de magnesie.	0,228
			chlorure de calcium.	0,304
Terre prise à 30 centimètres de profondeur.. .		1,110, contenant.	chlorure de sodium.	0,761
			acide sulfurique. . .	0,086
			Chaux et magnésie.	très-petite quantité.
Terre prise à 60 centimètres de profondeur.. .		1,326, contenant.	chlorure de sodium.	0,840
			acide sulfurique. . .	0,080
			chaux et magnésie.	très-petite quantité.
Champ voisin du *Grand-Salant*.		0,181, contenant.	chlorure de sodium.	0,033
			acide sulfurique. . .	0,038
Champ de première qualité, à 500 mètres du *Grand-Salant*. . .		0,208, contenant.	chlorure de sodium.	0,033
Terre d'une plaque salée de 4 mètres de diamètre (récolte nulle).		1,921, contenant.	chlorure de sodium.	0,845
			acide sulfurique. . .	0,200
Terre adjacente à la plaque salée portant un blé magnifique. . . .		0,126, contenant.	chlorure de sodium.	0,020

(*) Les échantillons ont été pris après une période exceptionnelle de sécheresse. Le *Grand-Salant* est abandonné depuis longtemps, à la suite d'essais infructueux.

On voit que la matière saline qui constitue le salant est surtout formée de chlorure de sodium.

L'auteur pense que le salant se développe par suite de l'existence de couches salées situées à une certaine profondeur; lorsqu'arrive la sécheresse, l'humidité montant du fond entraîne avec

elle des matières salines qui se concentrent près de la surface du sol.

Il a reproduit artificiellement le phénomène : dans un vase de verre à fond perméable, il a placé un mélange formé de

100 grammes de terre,
5 grammes de sel marin,
20 grammes de sulfate de magnésie.

Il a recouvert ce mélange d'une épaisseur de 40 centimètres de terre bien exempte de sel; il a arrosé et exposé le tout au soleil. Au bout de trois mois, la surface était recouverte d'efflorescences salines tout à fait identiques à celles qui se produisent dans la nature.

L'analyse de l'eau de lessivage de la terre a donné les résultats suivants pour 100 de terre.

Chlorure de sodium	5,692
Chlorure de magnésium	1,081
Sulfate de magnésie	1,020

---

36. *Sur la nitrière de Tacunga (Équateur)*;
Par M. Boussingault.

(*Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. VII, p. 358.)

Le salpêtre est très-répandu dans la nature, mais les localités où on le rencontre en abondance sont assez rares. Le seul gisement qui puisse être comparé à un gîte minéral, est celui de la province de Taracapa, au Pérou. Partout ailleurs où l'on trouve le nitre, il surgit spontanément et couvre la surface du sol d'efflorescences qui se développent comme une végétation rapide sous les influences de la chaleur et de la sécheresse. Il suffit alors de balayer le terrain pour recueillir le salpêtre; c'est ainsi qu'on opère sur les bords du Gange, et en Espagne.

La lumière n'est pas nécessaire à la production du salpêtre; on l'exploite en effet aux Indes dans des cavernes tout à fait souterraines, dont les parois se recouvrent d'efflorescences. Mais dans tous les cas, les sols qui produisent le nitre sont très-riches en matières organiques, et donnent des terres d'une extrême fertilité. A cette condition s'en ajoute une autre : il faut pour la production du nitre un air très-sec et de longs jours sans pluie; dans le cas contraire, le nitre pourrait peut-être se former, mais

serait dissous au fur et à mesure de sa production. Le sol doit en outre être très-riche en produits minéraux contenant la potasse que l'exploitation du nitre enlève continuellement, et pouvant la céder sous diverses influences.

Tacunga est une ville située par 1° de latitude australe, à une journée de marche de Quito; son altitude est de 2860 mètres: sa température moyenne est de 15°,5 ; elle est située au milieu d'une plaine, entre deux rivières, l'Alaque et le Cutuchi, sur une pente douce s'élevant jusqu'au pied du Cotopaxi.

La terre de Tacunga, dans sa partie la plus ténue, est un sable formé de particules de trachyte, de ponce et de matière humique qui lui communique, quand elle est mouillée, une couleur brun noir foncé. Le nitre est si abondant en certains endroits, que la stérilité du sol est complète. Une petite colline de tuf, le Calvario, a une teinte beaucoup moins foncée que le reste de la vallée; quelques jours sans pluie suffisent pour y faire développer des efflorescences; ces efflorescences se produisent aussi dans la ville, sur les parties inférieures des murs des habitations.

La terre salpêtrée est lavée dans de grands vases de poterie; la dissolution obtenue est évaporée dans une chaudière de cuivre et écumée jusqu'à ce qu'elle ait une densité telle qu'un œuf puisse surnager à sa surface. La cristallisation de cette dissolution donne le nitre brut, contenant 60 p. 100 d'azotate de potasse. Les eaux-mères contiennent du chlorure de sodium et des nitrates de chaux et de magnésie qu'on transforme en salpêtre par la réaction des cendres de bois.

Lorsque l'on a fait la récolte des efflorescence du nitre à la surface du sol, la terre reste imprégnée de substances nitreuses, toutes formées ou en voie de formation qui, en montant à la surface, donneront lieu à une deuxième récolte de nitre; et ainsi de suite. Il était donc très-intéressant d'étudier la composition de cette terre.

Deux échantillons de ces terres ont été examinés ; ils provenaient, l'un des pentes du Calvario, l'autre du bas des Tapias, murs de briques crues qui se nitrifient rapidement. L'examen à la loupe les a montrés composés des mêmes éléments : grains arrondis de quartz transparent; fragments de pierre ponce intacts ou altérés et kaolinisés ; lamelles de mica ; détritus végétaux plus ou moins analogues à ceux de la tourbe ; cristaux de fer titanés; fragments de trachyte ; parcelles d'argile jaunâtre.

Les analyses ont donné les résultats suivants :

	Terre du Calvario.	Terre des Tapias.
Azote engagé dans les matières organiques.	0,243	9,213
Acide nitrique.	0,975	0,618
Ammoniaque	0,010	0,004
Acide phosphorique.	0,460	0,500
Chlore.	0,395	0,475
Acide sulfurique.	0,023	0,072
Acide carbonique.	traces	traces
Potasse et soude.	1,030	1,443
Chaux.	1,256	1,904
Magnésie.	0,875	0,675
Peroxyde de fer.	2,450	0,450
Sable, ponce, argile.	83,195	84,448
Eau dosée.	3,150	9,197
Substances organiques (azote deduit) et matières indéterminées (1).	5,938	
	100,000	100,000

D'après ces analyses et la densité des terres, 1 décimètre cube contiendrait :

	TERRE DU CALVARIO		TERRE DES TAPIAS.	
		Azote correspondant		Azote correspondant.
	gr.	grammes.	gr.	grammes.
Ammoniaque.	0,120	0,112	0,048	0,045
Acide nitrique.	11,700	3,033	7,420	1,924
Azote des substances organiques.		2,916		2,769
Azote total		6,061		4,738
Acide nitrique exprimé en nitrate de potasse.	21,89	....	13,89	

Telle est la teneur de la terre de Tacunga en principes nitrifiés ou nitrifiables, après que l'on a ramassé le salpêtre effleuri. On ne sait pas jusqu'à quelle profondeur la terre est pourvue de ces principes ; toutefois, en se bornant à considérer la composition assignée par les analyses sur une épaisseur de 1 décimètre, on en tire cette conséquence qu'après que les sels effleuris ont été enlevés, 1 hectare de terrain renfermerait encore à l'état latent, dans cette faible épaisseur de 1 décimètre :

	Terre du Calvario.	Terre des Tapias.
Nitrates de différentes bases équivalents à :	kilogr.	kilogr.
Nitrate de potasse.	21890	13890
Acide nitrique.	11700	7420
Ammoniaque toute formée.	112	48
Azote de toute provenance.	6061	2769

Ces recherches révèlent l'analogie qui existe entre la constitu-

(1) Dosées par différence.

tion du sol de la nitrière de Tacunga et celle des meilleurs terrains cultivés, et même du terreau des jardiniers. De part et d'autre, l'analyse signale la présence de substances considérées avec raison comme de puissants agents de fertilité : acide nitrique, ammoniaque, matières humiques azotées, acide phosphorique. Dans 1 kilogramme de matière séchée à l'air, on a en effet trouvé :

	TERRE du Calvario.	TERRE des Tapias.	TERREAU des maraîchers	TERRE d'un potager
	gr.	gr.	gr	gr.
Azote uni à des matières organiques.	2,43	2,13	10,50	2,59
Nitrates exprimés en nitrate de potasse.	17,88	11,57	1,07	0,95
Ammoniaque.	0,10	0,04	0,12	0,02
Acide phosphorique.	4,60	5,00	12,80	3,12

L'apparition spontanée du salpêtre dans une nitrière naturelle, est donc due à un ensemble de circonstances parmi lesquelles figure en première ligne la fertilité du sol ; si dans certaines vallées, sur certains plateaux élevés des Andes équatoriales, la nitrification n'est pas toujours assez intense pour donner lieu à une exploitation, la fécondité du sol se ressent néanmoins des causes qui la déterminent. Nulle part on ne voit de plus beaux champs de luzerne que dans les environs de Tacunga. Les plantureux herbages de Puela et d'Agamarca sont encore placés sur ces terrains privilégiés ; vers le Nord, près de Santa Rosa, au contraire, la végétation est déjà réduite à de rares aloës et à des cactus épineux ; plus loin, on entre dans la plaine aride de Tapia, base du Chimborazo. C'est cependant le même terrain qu'à Tacunga ; mais l'humus manque, et le salpêtre ne surgit pas.

La même connexité entre la fertilité du sol et la nitrification se remarque aussi dans les champs salpêtrés de l'Espagne, qui fournissent du nitre et du blé, aussi bien que sur les bords du Gange, qui produisent le salpêtre à côté des plus belles plantations de tabac, de maïs et d'indigo.

D'après ce qui précède, l'origine de l'acide nitrique dans les nitrières naturelles analogues à celle de Tacunga, réside dans la combustion lente des matières azotées associées à l'humus, aux acides bruns des terres fertiles, origine bien différente de celle de l'acide nitrique engendré dans l'atmosphère, qui provient de la combinaison directe de l'oxygène et de l'azote sous l'influence de causes encore mal déterminées, mais parmi lesquelles on doit ranger l'électricité et la présence de l'ozone.

Dans les nitrières naturelles, la formation du nitre est intermittente ; la sécheresse la favorise quand elle ne pénètre pas trop

avant dans le sol; une forte humidité lui est nuisible; une pluie abondante déplace ou entraîne le nitre déjà formé. A Tacunga, la saison pluvieuse est longue et persistante, et les pluies d'orage sont fréquentes à l'équinoxe de septembre; la nitrification y est donc assez restreinte.

Si on ne récoltait pas le salpêtre et si les pluies ne le détruisaient pas, il s'accumulerait à la surface du sol; l'humidité se porterait surtout sur les sels déliquescents qu'elle dissouderait et entraînerait, laissant à peu près intacts les nitrates et les chlorures. A la suite des siècles, le salpêtre s'accumulerait en cristaux répandus dans le sable et dans l'argile, ou agglomérés de manière à former des bancs plus ou moins puissants, et finirait par former un vrai gîte minéral.

C'est sans doute à des circonstances semblables qu'il faut rapporter la formation du salpêtre de Taracapa; dans cette province, en effet, comme dans tout le désert d'Atacama, il ne pleut jamais; l'eau n'y est apportée que par les brouillards, lorsque cesse le vent du sud. Là, on croit avoir remarqué qu'après un certain laps de temps, le salpêtre reparaît où on l'avait enlevé; cela prouverait que l'action nitrifiante n'est pas anéantie, et que malgré la formation de grandes masses de salpêtre, les matériaux de la nitrification ne sont pas épuisés.

— Le nitre est exploité en Algérie dans la province de Biskra; on le rencontre dans des amas de terre ayant pour origine d'anciens villages construits en briques crues. Les matériaux salpêtrés conservent l'aspect des terres argileuses qui ont servi à leur confection; ils ont une nuance un peu plus foncée; en les examinant au microscope, on y reconnaît, outre les sels dont ils sont imprégnés, des parcelles noires ou brunes en assez grande quantité. Ces parcelles sont des matières humiques dont la composition diffère, probablement par suite de la différence de leur origine

Le nitre se rencontre encore en Algérie dans des grottes profondes où les troupeaux reçoivent un abri pendant l'hiver, et qui servaient autrefois de refuge aux populations pendant la guerre. Ainsi, par exemple, la colline de Mansourah, au sud de Constantine, renferme un grand nombre de ces grottes. Les parois de l'une d'elles se recouvrent d'une mince couche saline ayant la composition suivante, et qui se reproduit indéfiniment lorsqu'on l'enlève :

Nitrate de potasse	86,00
Nitrate de chaux et de magnésie	3,00
Chlorure de sodium	6,00
Eau	3,50
Matières solides et insolubles	1,50
	100,00

57. *Extraction des sels de potasse et du sulfate de soude à Stassfurt et dans les marais salants de la Camargue.*

(*Extrait d'une communication de* M. Balard *à la Société d'encouragement* (1866) *et de son rapport sur l'Exposition universelle de* 1867).

Les sels de potasse naturels que l'on extrait à Stassfurt sous le nom de *Kalisalz*, sont formés d'un mélange de chlorure double de potassium et de magnésium, de chlorure de sodium et de sulfate de magnésie.

Le premier traitement qu'on leur fait subir a pour but d'en extraire du chlorure de potassium. Pour cela, ces sels sont dissous dans l'eau, dans de grands cuviers chauffés à la vapeur d'eau, et dans lesquels on produit une agitation continue pour accélérer la dissolution. Lorsqu'elle est complète, on fait écouler la liqueur dans des cristallisoirs; lorsque le dépôt est terminé, on évacue l'eau-mère; par la dissolution dans l'eau, le chlorure double de potassium et de magnésium s'est détruit, et les cristaux obtenus sont formés par un mélange de sels simples renfermant 55 à 60 p. 100 de chlorure de potassium. On fait arriver de l'eau pure sur ces cristaux qu'on lave ainsi une ou deux fois, en laissant l'eau agir chaque fois pendant une heure environ. Par ce lavage, les sels de soude et de magnésie sont éliminés en grande partie, et l'on obtient des cristaux contenant en général 82 p. 100 de chlorure de potassium; le reste est du chlorure de sodium.

Les eaux-mères et les eaux de lavage contiennent encore une grande quantité de potasse. Elles sont évaporées et concentrées; par refroidissement, elles laissent déposer des cristaux de chlorure double de potassium et de magnésium. Ces cristaux sont traités comme le sel brut, et donnent les mêmes produits.

La production du chlorure de potassium obtenu ainsi est très-considérable, et va jusqu'à 1500 tonnes par mois; aussi le développement de l'industrie des sels de potasse à Stassfurt a-t-il jeté une perturbation profonde dans les conditions économiques du traitement des eaux-mères des marais salants du midi de la France,

traitement dans lequel on extrayait toute la potasse à l'état de chlorure de potassium.

Actuellement, dans les salines de la Camargue, on laisse les eaux s'évaporer sur le sol jusqu'à ce qu'elles marquent 32 degrés B.; le dépôt qui se produit jusque-là est le *sel marin*. Les eaux-mères sont alors dirigées dans un autre bassin, où elles s'évaporent jusqu'à 35 degrés B. et produisent un *sel mixte* composé de sel marin et de sulfate de magnésie en égale proportion; elles sont enfin versées dans un troisième bassin où elles se concentrent jusqu'à 37 degrés B. en produisant un dépôt nommé *sels d'été*, et formé de chlorure double de potassium et de magnésium, et de sulfate double de potasse et de magnésie mélangés d'un peu de sel marin et de sulfate de magnésie; c'est dans ce dépôt que se trouve concentrée toute la potasse contenue dans l'eau de mer.

Si l'on compare la composition de ces sels d'été avec les sels bruts de Stassfurt, on les trouve beaucoup plus riches en potasse, et plus pauvres en chlorure de magnésium; seulement la potasse s'y trouve en grande partie à l'état de sulfate, ce qui n'a pas lieu dans les sels de Stassfurt. Néanmoins leur prix de revient est inférieur à celui de ces derniers, et rien ne prouve que leur exploitation ne puisse être avantageuse.

Quoiqu'il en soit, on ne peut retirer des sels d'été toute la potasse à l'état de chlorure de potassium à un assez bas prix pour lutter avec les produits d'Allemagne; aussi a-t-on dû modifier le traitement, et le diriger dans un autre but. Voici ce à quoi on s'est arrêté dans la Camargue.

L'expérience a montré qu'une dissolution de chlorure de magnésium marquant 34 degrés B. à l'ébullition, agissant en excès sur un mélange tel que les sels d'été, de sulfate de potasse, de sulfate de magnésie et de chlorure de sodium, donne lieu par refroidissement à un dépôt de chlorure double de potassium et de magnésium; la potasse est enlevée en grande partie à l'acide sulfurique, et il se produit une quantité correspondante de sulfate de magnésie. L'eau-mère qui surnage ce dépôt, agissant de nouveau sur le même mélange de sels, s'emparera seulement des composés de potasse qu'elle transformera en chlorures doubles; comme elle est presque saturée de chlorure de magnésium, elle ne dissoudra que peu de sulfate de magnésie et de chlorure de sodium. Le résidu de la dissolution se composera d'un mélange de sulfate de magnésie et de chlorure de sodium, complétement exempt de potasse. Par refroidissement, cette dissolution produira encore un dépôt de chlorure double, et l'eau-mère pourra être de-

nouveau employée à traiter le mélange de sels, et ainsi de suite; le chlorure de magnésium qui se dépose à chaque cristallisation, lui est rendu en partie par le sel traité lui-même; si du reste elle s'appauvrissait, on pourrait la maintenir suffisamment saturée en ajoutant à chaque fois du chlorure de magnésium, sel que l'on trouve en grande quantité dans les dernières eaux-mères produites par le traitement.

Tel est le principe du traitement appliqué dans la saline Giroud, dans la Camargue. Voici comment on opère : les sels d'été sont amenés dans un cylindre très-résistant, communiquant avec une chaudière fermée et alimentée d'une façon continue, contenant une dissolution de chlorure de magnésium marquant 32 degrés B., et chauffée à 130 ou 140 degrés.

Cette dissolution agit sur les sels comme il vient d'être dit, et en se refroidissant, elle laisse cristalliser le chlorure double, sans sulfate ni chlorure de sodium. On peut s'arranger de manière qu'elle se refroidisse en traversant l'eau-mère chargée de chlorure de magnésium qui doit être injectée dans la chaudière.

Le chlorure double ainsi obtenu est porté dans des grandes bâches où l'on fait arriver un courant d'eau froide ; le chlorure de magnésium se dissout tout d'abord en plus forte proportion que celui de potassium ; une fois que la liqueur atteint 34 degrés B., il ne se dissout plus de ce dernier sel. On peut ainsi obtenir du chlorure de potassium relativement très-pur, et ne contenant pas plus de 8 p. 100 de sel marin. La dissolution de chlorure de magnésium, laquelle renferme encore une certaine quantité de potasse, est employée pour la formation d'une nouvelle quantité de chlorure double ; de cette manière la potasse qu'elle contient n'est pas perdue.

Le chlorure de potassium produit comme il vient d'être dit, peut être facilement transformé en sulfate de potasse ; pour cela, on opère absolument comme pour la fabrication du sulfate de soude par le chlorure de sodium, et dans les mêmes appareils.

Mais on peut aussi extraire directement le sulfate de potasse des sels d'été ; pour cela, on les dissout dans l'eau bouillante, et par refroidissement, il se produit du sulfate double de potasse et magnésie. Plus de la moitié de la potasse se trouve dans ce sulfate double. On peut même l'y faire passer complètement, en décomposant le chlorure de potassium qui reste dans la liqueur par une quantité suffisante de sulfate de magnésie. La décomposition du sulfate double de potasse et de magnésie est plus difficile que celle du chlorure correspondant ; cependant, en le traitant par l'eau,

le sulfate de magnésie se dissout en plus forte proportion que le sulfate de potasse, et après deux recristallisations successives, le produit obtenu contient 80 p. 100 de sulfate de potasse et 20 p. 100 de sulfate de magnésie. Traité par le procédé Leblanc, ce produit donne une potasse brute peu compacte, se lavant très-bien, et fournissant un carbonate d'une grande pureté. Si le sulfate de potasse était pur, la potasse brute serait beaucoup plus compacte et plus difficile à laver, et ne donnerait pas un carbonate plus pur.

On a vu plus haut que le chlorure de potassium peut être transformé en sulfate double par l'action du sulfate de magnésie : c'est ce qu'on a fait à Stassfurt, mais il faut employer du sulfate de magnésie bien exempt de chlorure de sodium. Or, à Stassfurt, on extrait un mélange de ces deux sels ; voici comment on opère pour enlever le chlorure de sodium :

Le mélange broyé est placé sur un tamis à mailles fines suspendu à la partie supérieure d'une masse d'eau ; le sel marin se dissout, et le sulfate de magnésie, qui est seulement monohydraté, et dont la solubilité dans l'eau chargée de chlorure de sodium est très-faible, passe à travers les mailles du tamis, et tombe au fond de l'eau ; là il s'hydrate de manière à contenir sept équivalents d'eau, et en s'hydratant, il se prend en masse comme du plâtre.

Le sulfate double obtenu par l'action de ce sulfate de magnésie sur les sels bruts, est traité par le chlorure de potassium pour être transformé en sulfate de potasse. Tout d'abord, à Stassfurt, on opérait à chaud, et on obtenait une dissolution qui dans la première période du refroidissement donnait du sulfate de potasse pur, dans la deuxième, du sulfate double qui rentrait dans le traitement, et dans la troisième, du chlorure double de potassium et de magnésium d'où l'on extrayait le chlorure de potassium comme il a été dit précédemment.

A cette méthode, on a substitué un traitement à froid ; en faisant passer, par une espèce de lixiviation méthodique, des dissolutions saturées de chlorure de potassium sur le sulfate double, on enlève la magnésie à l'état de chlorure de magnésium, et on laisse en place de la potasse. Pour que la transformation soit complète, il faut un assez grand excès de chlorure de potassium. Les dissolutions augmentent rapidement de densité ; elles finissent par se saturer et ne plus agir ; on les fait alors évaporer et elles déposent du chlorure double de potassium et de magnésium.

On sait que si l'on refroidit suffisamment la dissolution des sels mixtes des marais-salants, sels formés de sulfate de magnésie et de chlorure de sodium, dont les proportions sont à peu près dans

le rapport de 2 à 3, on obtient du sulfate de soude qui cristallise, et du chlorure de magnésium qui reste dans l'eau-mère. Ce procédé a été appliqué à Stassfurt aux résidus de la préparation du chlorure de potassium, et aux carnallites impures. Mais, comme là les froids de l'hiver sont suffisamment intenses, on n'a pas eu besoin, comme dans le midi de la France, d'employer la réfrigération artificielle pour précipiter le sulfate de soude.

Les dernières eaux-mères que l'on obtient dans les traitements qui viennent d'être décrits, sont chargées d'une grande proportion de chlorure de magnésium. On peut par évaporation, en extraire facilement ce sel.

Par l'action de la vapeur d'eau et de la chaleur, le chlorure de magnésium se décompose, et produit de la magnésie et de l'acide chlorhydrique ; si les conditions économiques sont telles que ces produits aient un débouché suffisant, on pourra les obtenir en très-grande quantité ; mais le plus souvent, dans les salines du midi par exemple, il n'en est pas ainsi, et si l'on utilise les eaux-mères c'est seulement pour en extraire le brome et l'iode qu'elles contiennent.

Cependant le chlorure de magnésium et la magnésie pourraient devenir utilisables. M. Sorel a en effet reconnu que, de même que l'oxychlorure de zinc, l'oxychlorure de magnésium, obtenu en mélangeant la magnésie et le chlorure à équivalents égaux, forme un ciment qui durcit complétement sous l'action de l'eau dans l'intervalle d'une journée, et forme alors une masse à grain très-fin, se polissant comme le marbre et ayant le même aspect. Avant son durcissement, il forme une pâte molle excellente pour le moulage. L'ornementation intérieure pourrait en tirer un grand parti.

---

38. *Préparation industrielle du sulfate d'alumine.*

(*Rapport de* M. Balard *sur l'Exposition universelle de* 1867.)

Sulfate d'alumine provenant de l'alumine pure. — Dans l'usine de M. Merle, à Salindres, on prépare l'alumine pure à l'aide de l'aluminate de soude ; pour cela, on fait passer un courant d'acide carbonique dans une dissolution concentrée de ce sel. L'alumine se précipite alors sous forme d'une poudre grenue qui se lave bien. Il se produit du carbonate de soude qui peut être retiré de la dissolution par une simple évaporation, et servir de nouveau à la production de l'aluminate de soude.

Pour transformer l'alumine en sulfate, on la place dans un vase de bois doublé de plomb, et disposé de manière qu'on puisse verser son contenu rapidement par suite d'un brusque mouvement de bascule qui lui est communiqué. On ajoute de l'acide sulfurique chaud et étendu d'une quantité d'eau telle que jointe à celle que retient l'alumine, et défalcation faite de la perte par vaporisation qui se produit dans la réaction, elle représente la masse d'eau qui doit rester dans le sel.

On agite rapidement; bientôt la réaction se manifeste, et l'on doit remuer énergiquement pour empêcher le vase de déborder. Lorsqu'elle est terminée, on renverse le vase sur une grande lame de plomb garnie de rebords peu élevés et étendue sur le sol de l'atelier ; là, le sulfate se solidifie rapidement. Pendant la solidification, on fait une seconde opération ; on en verse le produit par dessus la première couche de sulfate solidifié : et ainsi de suite jusqu'à ce que l'épaisseur du sel soit suffisante.

Le sulfate d'alumine ainsi produit est très pur; il contient 18 équivalents d'eau.

Sulfate d'alumine obtenu avec le soufre de la blende. — Sur la rive gauche de la Meuse, dans la province de Liége, existent des schistes alumineux et potassiques, qui par grillage et lixiviation fournissent environ 2 p. 100 d'alun, et qui sont exploités depuis le XVII[e] siècle ; les résidus sont amoncelés, et forment ces collines rouges que l'on remarque surtout aux environs de Huy.

Ces résidus renferment encore de l'alumine en forte proportion. Pour les utiliser, et surtout pour se débarrasser de l'acide sulfureux provenant du grillage de la blende, M. de Lamime, dans son usine d'Ampsin, près de Corphalie, a eu l'idée de creuser dans leur masse des galeries d'un grand développement, dans lesquelles il fait rendre les fumées des fours de grillage. L'acide sulfureux est absorbé par l'humidité, et se transforme peu à peu à l'air en acide sulfurique qui se combine à l'alumine. Lorsque la sulfatisation est complète, on lessive de nouveau les résidus, et ils fournissent une dissolution contenant 25 à 30 p. 100 de sulfate d'alumine qu'on transforme en alun à l'aide du sulfate d'ammoniaque.

En 1867, il a été ainsi produit 1 500 tonnes d'alun ammoniacal.

39. *De l'action des métalloïdes sur le verre, et de la présence des sulfates alcalins dans tous les verres du commerce*;

Par M. J. Pelouze.

(*Comptes rendus*, t. LX, p. 985; t. LXI, p. 615.)

Les expériences ont été faites dans les fours à verre à glaces de l'usine de Saint-Gobain. On opérait dans des creusets de platine. Pour apprécier exactement l'influence des corps essayés sur le verre, on fondait toujours, dans les mêmes conditions que l'essai, une certaine quantité du mélange employé pour la fabrication courante.

Charbon. — Si au mélange suivant :

Sable blanc	250
Spath calcaire	50
Sel de soude à 85°	100

on ajoute 2 parties de charbon de bois, on obtient une masse vitreuse d'apparence homogène et colorée en jaune foncé.

En portant la proportion de sable à 290, le verre obtenu est plus réfractaire, et moins sensible aux influences atmosphériques.

Soufre. — En remplaçant dans le mélange précédent les 2 parties de charbon par 6 parties de soufre, on obtient un produit identique.

Si l'on maintient les deux verres précédents en fusion pendant 48 heures, leur nuance ne se modifie pas.

Silicium. Bore. — On a encore obtenu un verre de même nuance en remplaçant les 2 parties de charbon par 2 1/2 parties de silicium cristallisé, ou par 2 parties de bore.

Phosphore. — En ajoutant du phosphore amorphe à la composition ci-dessus, même en forte proportion, on n'a obtenu aucune coloration ; cela tient sans doute à ce que tout ce corps se brûle ou se volatilise pendant la fusion. Mais si à la place des 2 parties de charbon, on met 5 à 6 parties de phosphure de calcium, le verre obtenu est encore identique aux précédents.

Aluminium. — La présence d'une proportion, même très-faible, d'aluminium dans le mélange, rend la fusion et l'affinage du verre très-difficiles ; les bulles persistent longtemps. Avec beaucoup de soins, on parvient néanmoins à obtenir un produit bien fondu et homogène qui comme tous les précédents est encore coloré en jaune.

Hydrogène. — Si l'on fait passer de l'hydrogène pur au rouge

dans un tube de porcelaine contenant une nacelle remplie de fragments de verre, ces derniers se colorent encore en jaune, quoique moins fortement que dans les expériences précédentes.

L'arsenic et le zinc ne communiquent au verre aucune coloration.

On s'expliquerait difficilement pourquoi un si grand nombre de corps si différents agissent d'une façon identique sur la coloration du verre, si cette action leur était propre.

Mais si l'on tient compte de ce que presque tous les verres contiennent des sulfates alcalins, l'explication de ce phénomène est bien simple.

On a en effet constaté : dans le verre à glace de 1 à 3 p. 100 de sulfates alcalins ; dans le verre de Bohême, 2, 2 p. 100 ; dans le verre ancien de Pompéi. 2 p. 100 ; dans le verre à vitres, verre de gobeleterie, verre à bouteilles, etc , de 1 à 3, 5 p. 100.

Ces sulfates proviennent des fondants alcalins employés, qui en renferment toujours des proportions sensibles ; la silice chasse bien une grande partie de l'acide sulfurique, mais elle en laisse subsister des proportions variables avec la durée de la fusion ; en affinant le verre pendant longtemps, ces proportions diminuent, mais ne disparaissent pas ; après 120 heures de fusion, on a encore constaté 7 millièmes de sulfates dans le verre.

Si l'on porphyrise le verre en présence de l'eau pendant 24 heures, il cède la majeure partie de son sulfate ; ce qui tend à montrer que cette substance existe à l'état de liberté dans la masse.

Les verres contenant des sulfates, le charbon, le soufre, le silicium, etc., les réduisent à l'état de sulfures alcalins qui communiquent au verre leur coloration jaune.

En effet, si l'on fond le mélange suivant :

Sable blanc	250
Carbonate de soude *pur et sec*	100
Carbonate de chaux *pur*	50
Charbon d'amidon	2

On obtient un verre parfaitement blanc ; le résultat est le même en remplaçant le charbon par le bore, le silicium et l'hydrogène. Tous ces métalloïdes ne colorent pas le verre *pur*. Mais si l'on ajoute au mélange 2, 1/2 millièmes de sulfate, la coloration jaune apparaît ; avec 5 millièmes elle devient plus prononcée ; avec 2 ou 3 centièmes, elle augmente encore. On reconnaît que son intensité est proportionnelle à la quantité de sulfate ajoutée.

De même, le verre *pur* est coloré en jaune par le soufre.

Si l'on ajoute au verre ordinaire du sulfure de calcium, ce sulfure réagit sur les sulfates existants, et se détruit en partie ; s'il en reste un excès, il colore le verre en jaune. Ainsi, avec 10 p. 100 de sulfure, le verre est jaune très-foncé, à peine translucide ; avec 2, 5 p. 100, la coloration est légère ; avec 1, 25 p. 100, elle disparaît complétement. Cette couleur ne commence à s'apercevoir que lorsque la proportion dépasse 1, 1/3 p. 100 (1).

D'après cela, il est facile de déterminer la quantité de sulfure que l'on doit employer pour obtenir un verre d'une teinte jaune d'intensité donnée.

Si l'on mèle à la composition ordinaire du verre au carbonate, une certaine proportion de sélénium, (de 1 à 3 p. 100), on obtient une matière parfaitement transparente, d'une belle couleur orangée tirant sur le rouge, et rappelant certaines variétés de topaze, de grenat issonite et de zircon hyacinthe. Pour les proportions indiquées, la nuance et l'intensité de la coloration sont constantes.

Le soufre et le sélénium se comportent donc d'une manière identique vis-à-vis des verres.

---

40. *Sur le verre ;*

Par M. J. Pelouze.

(*Comptes rendus*, t. LXIV, p. 53)

Verre avec excès de silice. Pour étudier l'influence d'un excès de silice introduit dans la composition du verre, on a fondu les mélanges suivants :

Sable	400 (2)	Sable	400 (3)	Sable	350
Sulfate de soude	100	Carbonate de soude	100	Sulfate de soude	100
Carbonate de chaux	100	Carbonate de chaux	50	Carbonate de soude	100

On a obtenu des verres bien transparents, très-durs, et assez difficiles à fondre.

---

(1) Ces chiffres sont relatifs au mélange suivant :

Sable	250
Carbonate de soude à 90°	100
Carbonate de chaux	50

(2) Dans la composition au sulfate, on met d'ordinaire 270 de sable.

(3) Dans la composition au carbonate, la proportion habituelle de sable est de 290 parties.

Soumis au recuit, ces verres se dévitrifient très-rapidement et d'une manière complète; les deux premiers notamment deviennent tout à fait semblables à de la porcelaine dégourdie.

Les expériences ont été répétées un très-grand nombre de fois, et toujours on a constaté que le recuit dévitrifie les verres avec excès de silice.

Si l'on diminue au contraire la proportion de silice, la tendance à la dévitrification s'affaiblit de plus en plus; mais le verre devient très-fusible, moins dur et plus altérable.

Verre à base d'alumine. — Les verres du commerce contiennent toujours de l'alumine provenant des matériaux employés ou de l'attaque des creusets. On en a trouvé jusqu'à 10,5 et 14 pour 100.

En fondant le mélange suivant :

Sable	250
Carbonate de soude	100
Alumine pure et sèche	25

on obtient un verre dont l'affinage complet est impossible, même après 120 heures de chauffe. Le verre produit est bien transparent et incolore; il est plus léger que le verre à glaces. En ajoutant du carbonate de chaux au mélange, on obtient un produit qui s'affine et se travaille facilement..

Ainsi, à la composition suivante :

Sable	250
Carbonate de soude	100
Carbonate de chaux	50

on a ajouté successivement :

1°	Alumine pure et sèche	30
2°	*Idem*	40
3°	*Idem*	50
4°	*Idem*	60
5°	*Idem*	80
6°	*Idem*	90

Le n° 1, après 24 heures de chauffe, a donné un verre d'une fusion facile, mais d'un affinage lent. L'alumine est toute entière combinée; elle ne se sépare pas comme l'oxyde de chrôme.

Exposé à une température suffisante pour le ramollir, ce verre n'a donné des indices de dévitrification qu'au bout de 48 heures.

Les n°s 2 et 3 se sont comportés à la fonte et au recuit comme le n° 1.

Le n° 4 était plus pâteux et plus facile à dévitrifier.

Le n° 5 ne se distinguait pas du verre non alumineux; il parut

se dévitrifier moins facilement que le n° 4. Exposé pendant 240 heures à une température suffisante pour le ramollir, il était encore loin d'être dévitrifié, tandis que le verre à glaces l'était depuis longtemps et complétement.

Le n° 6 contenait de l'alumine non fondue.

D'après ces faits, l'alumine ne semble pas provoquer la dévitrification; au contraire, les verres à base de soude et de chaux deviennent plus difficilement dévitrifiables lorsqu'ils contiennent une forte proportion d'alumine.

Le verre alumineux et calcaire est toujours plus coloré que celui qui ne renferme pas de chaux. Cela tient à ce que la chaux facilite beaucoup l'attaque des creusets.

Verre magnésien. — La magnésie forme avec la silice et la soude un verre blanc qui ressemble au verre ordinaire, mais qui se dévitrifie avec une grande facilité.

Si l'on ajoute de la chaux, le recuit donne rapidement au verre l'aspect de la porcelaine dégourdie.

Les calcaires magnésiens doivent donc être écartés avec soin de la composition des verres dont le travail nécessite des recuits plus ou moins fréquents.

Sur quelques phénomènes de coloration du verre. — Fabriqué au creuset de platine avec du carbonate de soude pur, du sable blanc lavé à l'acide chlorhydrique et du marbre blanc bien pur, le verre présente une teinte verdâtre faible, mais toujours sensible.

L'insolation prolongée pendant plusieurs mois d'été ne modifie pas cette teinte.

Fabriqué industriellement dans des creusets d'argile, le verre est coloré d'une teinte vert d'eau, due à l'oxyde de fer dont il est impossible d'éviter la présence.

Exposé au soleil, il perd sa teinte verte, et se colore en jaune : une insolation de quelques heures suffit.

Si on porte au rouge un verre jauni au soleil, il reprend sa teinte verte primitive. L'insolation le jaunit de nouveau, et ainsi de suite; on peut reproduire le phénomène indéfiniment. Le verre conserve toujours sa transparence, et il ne se produit ni strie ni bulle.

Une température de 300 à 350°, insuffisante pour recuire le verre, car les larmes bataviques lui résistent, n'est pas suffisante pour ramener au vert le verre jauni au soleil.

A la lumière diffuse, le verre ne se modifie que très-lentement.

Si l'on remarque que le verre pur et exempt de sulfates alcalins et d'oxyde de fer ne se colore pas au soleil, que de plus, la moindre

trace de sulfure suffit pour jaunir le verre, on s'expliquera facilement tous ces phénomènes.

A la lumière solaire, le protoxyde de fer réduit les sulfates; il se produit du peroxyde, qui colore beaucoup moins que le protoxyde, et du sulfure qui donne au verre la couleur jaune.

En chauffant au rouge, le peroxyde réagit sur le sulfure, l'oxyde et se réduit à l'état de protoxyde; la couleur verte, due à ce dernier, reparaît.

Si, du reste, on analyse du verre jauni au soleil, on y trouve des traces très-faibles, mais irrécusables du sulfure.

Un certain nombre de verres deviennent violets par l'exposition au soleil. Ils reviennent à leur teinte primitive quand on les chauffe au rouge, mais ne sont pas modifiés à la température de 350° Ils redeviennent ensuite violets par l'exposition au soleil, et ainsi de suite.

Ces phénomènes s'observent dans les verres renfermant une forte proportion de fer, et dans lesquels on a dû ajouter du manganèse pour les blanchir.

Alors, le bioxyde de manganèse fait passer le protoxyde de fer à l'état de peroxyde et passe lui-même à l'état de protoxyde. Sous l'influence de la lumière il y a réaction inverse, et il se reproduit du peroxyde ou du sesquioxyde de manganèse, qui donne au verre la coloration rose violacée.

La même couleur violacée s'observe quand on trempe le verre manganésifère. Cette couleur disparaît par le recuit. La trempe aurait donc le même effet que la lumière solaire dans ce cas.

---

41. *Sur l'aventurine à base de chrôme.*

Par M. J. Pelouze.

(*Comptes rendus*, t. LXI, p. 613.)

Si l'on ajoute du bichrômate de potasse à la composition du verre, la chaleur le décompose d'abord en oxyde de chrôme et en chrômate neutre; la silice agit ensuite sur ce dernier sel, et donne de l'oxyde de chrôme, de l'oxygène et du silicate de potasse. Si la proportion de bichrômate est faible, le verre sera simplement coloré en vert jaunâtre; si elle est plus forte, le verre contiendra en outre des paillettes d'oxyde de chrôme.

Les essais ont été pratiqués sur le mélange suivant :

Sable	250	parties.
Carbonate de soude	100	—
Spath calcaire	50	—

1° Avec 10 parties de bichrômate, le verre fond, s'affine et se recuit bien. Il est homogène, transparent et d'une couleur légèrement jaunâtre,

2° Avec 20 parties de bichrômate, le verre se travaille et se recuit aussi facilement que le précédent; sa couleur est d'un vert très-foncé; on distingue dans sa masse de petites paillettes de sesquioxyde de chrôme.

3° Avec 40 parties, la fonte est sensiblement plus difficile. Le verre est rempli de cristaux très-brillants, et peut être comparé à l'aventurine de Venise. On peut le désigner sous le nom d'*aventurine de chrôme*.

4° Avec 50 parties de bichrômate, la fusion est extrêmement difficile. Le verre est rempli d'une masse confuse de paillettes, et n'a plus ni l'éclat ni la beauté du précédent.

Le meilleur dosage pour obtenir l'aventurine de chrôme serait donc celui du troisième essai.

Le verre résultant de ce dosage contient 6 à 7 pour 100 d'oxyde de chrôme, dont la moitié environ est combinée, et l'autre moitié à l'état de liberté, sous forme de cristaux ou de paillettes brillantes.

L'aventurine de chrôme jette des éclats de lumière au soleil et dans les endroits fortement éclairés; sous ce rapport, elle ne le cède qu'au diamant.

Elle est plus dure que le verre à vitres qu'elle raie et coupe facilement, beaucoup plus dure surtout que l'aventurine de Venise et, sous ce dernier rapport, d'une plus grande valeur. Elle se prépare du reste beaucoup plus facilement que cette dernière.

---

42. *Sur la composition de la soude extraite du sel marin par le procédé Leblanc :*

Par M. J. Pelouze.

(*Journal de chimie et de pharmacie*, 4e série, t. III, p. 161.)

Les proportions de matières employées au four à soude auxquelles Leblanc s'était arrêté, et qui ont été généralement conservées, sont les suivantes :

Sulfate de soude	100 parties.
Carbonate de chaux	105 —
Houille	40 à 50 —

Elles correspondent à peu près à 2 équivalents de sulfate de soude contre 3 équivalents de carbonate de chaux. Dans quelques usines, on a diminué la proportion de calcaire, qui ne représente plus que 2,5 à 2,6 équivalents contre 2 équivalents de sulfate.

Le sulfure de calcium a longtemps été regardé comme soluble dans l'eau ; pour expliquer l'insolubilité du marc de soude, on admettait qu'il était composé d'oxysulfure de calcium insoluble (2 CaS. CaO). Les résultats de l'analyse et les proportions de matières employées par Leblanc concordaient assez avec cette hypothèse. On sait aujourd'hui que le sulfure de calcium est insoluble dans l'eau, et que l'oxysulfure de calcium n'existe pas dans le marc de soude.

La soude brute contient quatre substances qu'on peut considérer comme essentielles à sa composition, et qui seules jouent un rôle important dans les réactions ; ce sont : le carbonate de soude, le sulfure de calcium, le carbonate de chaux et la chaux. Ces substances représentent environ les quatre cinquièmes du poids de la masse totale.

Les autres substances, que l'on peut considérer comme étrangères mais non accidentelles, car on les rencontre toujours, sont celles qui sont apportées par les cendres de la houille, par l'argile du sel gemme et du calcaire, les briques des fourneaux, les outils en fer des ouvriers, etc. Ces substances sont : le charbon, l'alumine, la silice, l'oxyde de fer, la magnésie, l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique.

Le charbon est libre de toute combinaison. Comme la craie, et pour la même raison, c'est-à-dire afin d'assurer la décomposition complète du sulfate de soude, il est toujours employé en excès. La proportion qu'on retrouve dans la soude varie en général de 1 à 4 pour cent, et de 2 à 6 pour cent dans la charrée.

La silice est combinée à de la chaux, de la magnésie, de l'alumine, et surtout à de la soude ; elle est en grande partie soluble dans les acides. Une faible proportion du silicate de soude passe dans les eaux de lavage ; la plus grande partie reste dans la charrée, et l'alcali qu'elle renferme est complétement perdu pour la fabrication. La proportion de soude existant ainsi dans la charrée varie de 1 à 4 pour cent.

On rencontre encore dans la soude brute des quantités tou-

jours très-faibles d'autres substances telles que l'ammoniaque, le cyanogène, le manganèse, etc.

On s'accorde à considérer la soude brute comme ne contenant pas de soude caustique, parce que l'alcool ne sépare aucune trace de cette matière; mais on pourrait objecter que cette soude existe à l'état anhydre et, par suite, insoluble dans l'alcool. L'expérience suivante fait disparaître cette objection : si on mouille la soude brute, et qu'on la traite ensuite par l'alcool, on constate encore qu'elle ne cède aucune trace d'alcali. Il est évident que si elle renfermait de l'oxyde de sodium anhydre, il s'hydraterait immédiatement au contact de l'eau, et deviendrait par là soluble dans l'alcool.

Si l'on agite de la soude brute bien pulvérisée avec de l'eau, et qu'on prolonge le contact de ce mélange pendant plusieurs jours, la liqueur contient presqu'exclusivement du carbonate de soude et de la soude caustique. Son titre alcalimétrique varie selon les usines, et souvent aussi dans la même usine, de 36 à 42 degrés.

Dans ce nombre, la soude caustique entre pour des proportions comprises entre 5 et 15 degrés, le sulfure de sodium pour quelques millièmes seulement.

Si au lieu de laisser la soude brute longtemps en contact avec l'eau, on la lave sur un filtre, la dissolution possède le même titre alcalimétrique qu'après un contact prolongé, mais la soude caustique s'y trouve en proportion deux ou trois fois plus faible. Cela tient à ce que, dans le premier cas, la chaux a eu le temps de réagir sur le carbonate de soude, et d'en caustifier une assez forte proportion; dans le second cas, au contraire, la rapidité des lavages et le faible contact qui peut avoir lieu entre la chaux et la dissolution de carbonate de soude empêchent cette réaction de se produire.

Ces expériences fournissent deux marcs bien différents : le premier, dans lequel la chaux libre a été entièrement carbonatée, n'a plus d'action sur la dissolution de carbonate de soude; le second, au contraire, qui renferme encore une forte proportion de chaux libre, enlève rapidement à cette dissolution de l'acide carbonique, et produit une nouvelle quantité de soude caustique qui, ajoutée à la première, est la même que celle qui aurait été obtenue par l'agitation et le contact prolongé de la soude brute avec de l'eau.

Si l'on fait bouillir pendant quatre heures de la soude brute délayée dans l'eau, le carbonate de soude est presque complétement détruit, ainsi que le sulfure de calcium; il se produit du carbonate de chaux et du sulfure de sodium; mais la quantité de soude caus-

tique obtenue est la même que celle que l'on a par l'agitation et le contact prolongé; cela prouve qu'il n'y a pas de chaux combinée avec le sulfure de calcium détruit, car cette chaux aurait produit une quantité correspondante de soude caustique.

Ces expériences montrent bien que la soude brute contient un excès de chaux libre qui ne peut être combinée au sulfure de calcium pour former de l'oxysulfure, car alors elle n'agirait plus sur le carbonate de soude pour le caustifier. La proportion de cette chaux libre dans la soude brute varie de trois à dix pour cent, et de un demi à quatre pour cent dans la charrée, suivant la manière dont le lessivage a été effectué.

Si l'on compare les analyses et les poids des charrées avec les proportions et les poids de matières employées pour la fabrication de la soude, on reconnait que le soufre du sulfate de soude se retrouve presque complétement dans les charrées, et que la perte de ce métalloïde est presque insignifiante : ce qui prouve bien que les flammes bleues qui se dégagent de la masse pendant l'opération ne sont pas dues à du soufre qui brûle. Mais il n'en est pas de même pour le sodium; tout le métal alcalin du sulfate de soude ne se retrouve pas dans le carbonate produit, à beaucoup près.

Certains fabricants pensent que du sodium se volatilise dans le four à soude brute; de plus, les charrées renferment, comme il est dit plus haut, de 3 à 4 pour cent d'alcali; enfin, dans le lessivage, il se produit une certaine quantité de sulfure de sodium; pour toutes ces causes, on comprend que le rendement effectif doive s'éloigner beaucoup du rendement théorique du sulfate de soude.

On a vu par ce qui précède, que l'oxysulfure de calcium n'existe pas dans la soude brute. M. W. Hofmann a cherché à préparer ce corps, et il croyait y être arrivé en calcinant avec du charbon un mélange de deux équivalents de sulfate de chaux et d'un équivalent de chaux; il avait en effet obtenu un produit qui ne caustifiait pas le carbonate de soude, et qui, par suite, ne pouvait renfermer de chaux libre. Mais on s'est assuré que ce produit était un mélange de sulfure de calcium et de carbonate de chaux, et tout naturellement impropre à caustifier le carbonate de soude; à la température rouge, le carbone réduit en effet l'acide sulfurique, et forme de l'acide carbonique dont la moitié se combine avec la chaux, tandis que l'autre moitié se dégage.

Mais si l'on chauffe plus fort et plus longtemps, le carbonate de chaux se détruit complétement, et l'on obtient un mélange de sulfure de calcium et de chaux, très-propre à caustifier la soude, même en dissolution froide.

Du reste, fût-on parvenu à préparer directement l'oxysulfure de calcium (2 CaS . CaO), ce que l'on n'a pas fait jusqu'ici, que les conclusions de ce travail n'en seraient aucunement ébranlées; ces conclusions sont les suivantes :

1° La soude brute est un mélange de carbonate de soude, de sulfure de calcium, de carbonate de chaux et de chaux libre.

2° Une soude brute, prise indistinctement dans une usine, donne, par un contact *intime et prolongé* avec l'eau, soit à froid, soit à chaud, une quantité de soude caustique proportionnelle à la quantité de chaux libre qu'elle contient.

Dans ces conditions, la soude laisse un marc dans lequel toute la chaux est complétement saturée par l'acide carbonique et l'acide sulfhydrique. Ce marc est impropre à caustifier le carbonate de soude, et on peut le détruire avec un carbonate alcalin, sans que de sa décomposition résulte la moindre proportion de soude caustique, ce qui aurait lieu infailliblement s'il restait dans cette charrée de la chaux unie à du sulfure de calcium.

3° Le marc de soude des usines, n'étant pas obtenu dans les conditions qui assurent d'une manière complète la réaction de la chaux sur le carbonate de soude, contient en général une petite quantité de chaux libre dont on peut constater la présence et la proportion, soit par l'analysé, soit par la propriété qu'elle présente de caustifier le carbonate de soude.

4° Étant donnée une soude brute, on peut, suivant la manière dont on la lessive, laisser ou ne pas laisser de chaux libre dans sa partie insoluble.

5° Rien ne démontre, jusqu'à présent, l'existence de l'oxysulfure de calcium 2 CaS. CaO, ni de toute autre combinaison de sulfure de calcium et de chaux.

---

43. *Nouvelles recherches sur la théorie de la fabrication de la soude par le procédé Leblanc;*

Par M. Scheurer-Kestner.

(*Comptes rendus*, t. LXIV, p. 615.)

Les premières recherches de l'auteur l'avaient amené aux deux conclusions suivantes:

1° Les marcs de soude ne renferment pas d'oxysulfure de calcium;

2° La première réaction qui a lieu dans le four à soude est la

réduction du sulfate en sulfure par le charbon ; le sulfure réagit ensuite sur le carbonate de chaux et se transforme en carbonate.

On avait objecté à cela qu'il était difficile d'obtenir de la soude dans des creusets fermés, ce qui semblait indiquer une réaction des gaz du foyer ; on disait en outre que la soude brute peut être obtenue en remplaçant le carbonate de chaux par la chaux caustique ou hydratée, ce qui tendrait à rejeter la dernière partie de la combinaison.

On a rempli des creusets du mélange suivant :

Sulfate de soude.	100
Charbon de bois.	16
Carbonate de chaux.	60

et on les a placés dans un bain de soude brute fondue au réverbère, de manière à éviter tout contact avec les gaz du foyer. Avant de les retirer, on attendait que la soude brute se fût solidifiée et refroidie.

Les culots ainsi produits étaient poreux, tout à fait semblables à la soude brute, et donnaient à la dissolution des sels tenant jusqu'à 92 p. 100 de carbonate de soude.

On peut conclure de là que la soude brute peut être préparée sans l'intervention des gaz des foyers.

En répétant les essais avec un excès de calcaire, le résultat a été le même, et l'on n'obtenait pas de soude caustique ; le carbonate de chaux n'avait donc pas été décomposé. Pour vérifier ce fait, on a plongé dans la soude brute fondue trois creusets contenant, l'un le mélange ordinaire, l'autre du carbonate de chaux pur et le troisième un mélange de carbonate de chaux et de charbon. Le premier a donné de la soude brute ; le contenu des deux autres n'était pas modifié : le carbonate de chaux n'était réduit ni par la chaleur ni par le charbon.

Par conséquent, dans les circonstances normales, lorsque le sulfate de soude est réduit, le carbonate de chaux ne l'est pas.

L'acide carbonique provenant de la réduction du sulfate de soude par le charbon n'est pas indispensable à l'opération, car en remplaçant le sulfate de soude par le sulfure de sodium, on obtient du carbonate de soude.

Si l'on remplace le carbonate de chaux par la chaux libre, cette dernière se carbonate dans le four à soude sous l'influence des gaz du foyer. Bien plus, si l'on fond dans des creusets enfermés dans la soude brute le mélange suivant :

Sulfate de soude.	71
Chaux.	28
Charbon.	18

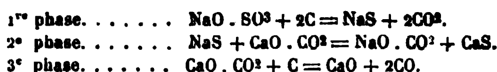
on produit encore de la soude brute donnant à la dissolution des sels renfermant jusqu'à 94 p. 100 de carbonate de soude exempt de soude caustique. Lorsque le sulfate de soude se décompose, la chaux fixe l'acide carbonique qui se produit pour réagir ensuite sur le sulfure de sodium.

L'excès de calcaire que l'on met dans le four à soude, outre qu'il facilite la réaction en multipliant les points de contact avec le sulfure de sodium, est réduit en partie par l'excès de charbon; à la fin de l'opération, la chaux produite donne lieu à une certaine proportion de soude caustique qui a la propriété de retarder la réaction du carbonate de soude sur le sulfure de calcium, comme cela résulte des expériences de M. Kolb; alors les lessives de soude renferment moins de sulfure, et les sels obtenus sont plus blancs.

Cet excès est encore utile au point de vue du dégagement d'oxyde de carbone qui se produit lors de sa réduction; la soude brute est alors poreuse et facile à dissoudre. Le dégagement de gaz est l'indice de la fin de l'opération.

L'excès de charbon, outre celui qui sert à réduire le carbonate de chaux à la fin de l'opération, est destiné à remplacer celui qui est brûlé par l'oxygène des gaz du foyer; la proportion de cet oxygène s'élève en effet jusqu'à 10 pour 100.

En résumé, les réactions qui se passent au four à soude peuvent se formuler ainsi :



1re phase. . . . . . . $NaO . SO^3 + 2C = NaS + 2CO^2$.
2e phase. . . . . . . $NaS + CaO . CO^2 = NaO . CO^2 + CaS$.
3e phase. . . . . . . $CaO . CO^2 + C = CaO + 2CO$.

---

44. *Sur la composition de la soude brute et sur les pertes résultant de l'emploi du procédé Leblanc;*

Par M. Scheurer-Kestner.

(*Comptes rendus*, t. LXX, p. 1352.)

1° La soude brute renferme essentiellement du carbonate de soude, du sulfure de calcium, du carbonate de chaux et de la chaux; elle contient en outre toutes les substances étrangères apportées par les matières premières telles que de la silice, de l'alumine, de l'oxyde de fer, du charbon, etc.

La dissolution de soude brute, traitée par un courant d'acide carbonique, laisse déposer un précipité blanc, qui donne à l'analyse la composition suivante :

Silice	32,3
Alumine	43,4
Eau	23,9

C'est un silicate d'alumine hydraté, répondant à la formule $Al^2O^3, 3SiO^3 + 6HO$.

Si l'on décante la liqueur claire, et qu'on la fasse cristalliser un certain nombre de fois, on obtient une eau-mère, dans laquelle se trouve la majeure partie des impuretés solubles de la soude brute. On peut y reconnaître, outre des composés oxygénés du soufre, du séléniate de soude et du sulfocyanure de sodium.

Le sélénium provient des pyrites qui ont servi à la fabrication de l'acide sulfurique.

Pour constater sa présence dans les eaux-mères, on ajoute un sel de plomb jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de dépôt coloré. En décomposant le précipité ainsi obtenu par l'acide sulfhydrique, on obtient une masse qui répand à la calcination les vapeurs violettes caractéristiques du sélénium.

Le sulfocyanure provient de l'action de l'azote de l'air ou de l'azote de la houille sur la soude en présence du charbon. C'est à la présence de ce composé que l'on doit attribuer l'odeur ammoniacale que répandent les pains de soude brute lorsqu'ils se refroidissent à l'air humide. Pour constater sa présence, il suffit de traiter la soude par l'alcool. On obtient ainsi une dissolution colorée, soit en rouge, soit en jaune, probablement par du croconate ou du rhodizonate de soude; en l'évaporant, on obtient le sulfocyanure de sodium. On a trouvé ainsi 73 milligrammes de ce composé dans 100 grammes de soude brute.

Si la soude brute a été surchauffée, elle renferme du sulfure de sodium NaS, provenant de l'action à chaud du sulfure de calcium sur le carbonate de soude :



$$CaS + NaO . CO^2 = NaS + CaO + CO^2.$$

2° Dans la pratique industrielle du procédé Leblanc, on est loin d'obtenir des rendements concordants avec les données du calcul. On perd du sodium.

Les pertes peuvent tenir à des causes multiples :

Volatilisation du sodium dans les fours à soude;

Lessivage imparfait, laissant dans les charrées des sels solubles de soude;

Existence, dans les mêmes charrées, de composés insolubles de sodium;

Pertes provenant de la manipulation des matières.

Les recherches de M. Usiglio avaient déjà démontré que, dans la fabrication normale de la soude, les pertes par volatilisation sont nulles.

Les expériences ont été reprises de la manière suivante:

Des échantillons moyens ont été prélevés avec soin sur les trois substances, sulfate de soude, craie et houille, introduites dans le four à soude.

Ces échantillons ont été analysés; on a pesé exactement les matières employées.

On a fait la même chose pour la soude brute obtenue.

Sur 1 216 kilogrammes de sodium, que renfermaient 3 965 kilogrammes de sulfate de soude employé, on a retrouvé, dans 6 558 kilogrammes de soude brute produite, 1 216 kilogrammes de sodium.

La perte par volatilisation était donc nulle.

Cependant, lorsque la température a été poussée trop loin dans le four, on a constaté une légère perte, qui n'existe plus dans les conditions normales de fabrication.

D'après M. Usiglio, les rapports entre les poids du sodium, du soufre et du calcium sont:

	Dans les matières employées.	Dans la soude brute obtenue:
Sodium	31,68	31,49
Soufre	22,66	22,89
Calcium	45,66	45,62
	100,00	100,00

Ces rapports sont les mêmes; s'il existait des pertes de sodium, il faudrait donc qu'il y eût aussi des pertes exactement proportionnelles de soufre et de calcium.

La principale cause de perte réside dans l'existence de composés de sodium dans les charrées. Généralement, ces charrées renferment une proportion à peu près constante, 1 pour 100 de sels solubles de sodium, et une proportion variable de composés insolubles.

Par exemple, M. Unger indique 1,06 pour 100 de sodium total dans la charrée de Rinckuhl; M. Kopp, 4,36 pour 100 dans celle de Dieuze; M. Brown, 1,01 pour 100 dans celle de Cassel; et M. Muspratt, 1 à 2 pour 100 dans celle de Newcastle.

Deux échantillons, pris méthodiquement sur une masse de 4000 kilogrammes de charrée, ont donné les nombres suivants :

Sodium insoluble pour 100	1,67	0,99
Sodium soluble —	0,17	0,43
Sodium total —	1,84	1,42

La soude brute produisant environ 60 pour 100 de marcs de soude, et renfermant 18,65 pour 100 de sodium, il en résulte une perte d'environ 5 pour 100 du sodium à l'état de composés insolubles dans les marcs.

On ne sait rien encore sur la nature de ces composés. Les différences entre les résultats d'essais au laboratoire et ceux du lavage industriel semblent indiquer que ces composés se produisent par suite du contact prolongé du carbonate de soude et du sulfure de calcium au sein de l'eau.

---

45. *Dénaturation et utilisation des résidus de la fabrication de la soude artificielle et de la préparation du chlore.*

(*Extrait des Mémoires de* M. E. Kopp, *Moniteur scientifique*, 231e et 270e liv., *et du Rapport de* M. Balard *sur l'Exposition universelle de* 1867.)

Les fabriques de produits chimiques, qui le plus souvent préparent concurremment la soude artificielle et le chlorure de chaux, donnent lieu à deux sortes de résidus fort incommodants tous deux : des marcs ou charrées de soude et une dissolution acide de chlorure de manganèse.

Le marc de soude constitue la matière insoluble qui reste dans les bacs de lixiviation après épuisement de la soude brute par l'eau. Son poids équivaut presque à celui de la soude brute, car si le lessivage enlève à cette dernière le carbonate de soude qu'elle renferme, il lui donne en même temps une forte proportion d'eau dont elle reste imprégnée. Il en résulte qu'une fabrique produisant dans une journée 100 pains de soude brute de 250 kilogrammes, aura à enlever pendant le même temps environ 25 tonnes de charrée, ce qui fait près de 9000 tonnes par année.

Dès l'origine et jusque dans ces derniers temps, ces charrées étaient entassées sur un terrain avoisinant l'usine, et formaient, au bout d'une série d'années, de véritables collines artificielles. Ces amas dégageaient peu d'émanations, quelques vapeurs d'hydrogène sulfuré pendant les saisons humides et brumeuses seule-

ment. Mais il s'en écoulait constamment un liquide jaune rouge, très-alcalin, très-sulfuré, qui exerçait une influence très-fâcheuse sur le sol et les eaux des environs.

La nature et la composition de ce liquide sont faciles à expliquer d'après l'action que les agents atmosphériques peuvent avoir sur la charrée.

La composition de cette dernière est très-variable, même dans la même fabrique. Moins on aura ajouté de calcaire pour une proportion donnée de sulfate de soude, plus la charrée sera riche en soufre relativement au calcium, et moins elle renfermera de chaux libre. Plus la lixiviation aura été faite avec soin, plus le résidu sera pauvre en matières solubles : sulfate ou carbonate de soude, chlorure et sulfure de sodium. Plus la soude brute aura été poreuse, la lixiviation rapide et faite avec de l'eau froide, plus les lessives seront carbonatées, peu sulfurées et peu caustiques, et par suite plus grande sera la proportion de chaux libre. En effet, par l'action prolongée de solutions chaudes de carbonate de soude sur la chaux hydratée, il se forme du carbonate de chaux et de la soude caustique qui réagissant sur le sulfure de calcium, reproduisent de la chaux et du sulfure de sodium ; ce dernier corps peut même provenir de l'action directe du carbonate de soude sur le sulfure de calcium. Enfin, la composition de la houille et sa proportion, celle des eaux de lixiviation, le plus ou moins grand degré d'usure des fours, sont autant de causes qui agissent directement ou indirectement sur la nature des charrées.

Ces quelques considérations suffisent pour démontrer qu'il est presque impossible d'obtenir, même dans le cours d'une fabrication régulière, des résidus de composition constante.

Le tableau suivant donne quelques analyses de charrées, exécutées par M. W. Hoffmann de Dieuze ; les n[os] 1, 2 et 3 sont relatifs à des charrées industrielles, le n° 4 à une charrée obtenue au laboratoire par la lixiviation à l'eau distillée froide et à l'abri du contact de l'air, de divers échantillons de soude brute de bonne qualité. Les chiffres se rapportent à 100 parties de matière supposée privée de toute son eau.

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
CaS.	41,85	40,81	45,45	35,18
CaO.	17,57	15,11	12,71	13,63
$CaO \cdot CO^2$.	21,11	23,44	25,93	21,64
NaS.	3,62	3,24	0.95	4,58
FeS.	3,70	3,21	3,93	4,24
Coke, silice, argile, etc. .	12,15	14,09	11,03	20,73

Ces charrées, qui paraissent assez fermes au fond des bacs de lixiviation, deviennent semi-fluides par le transport; mais lorsqu'elles sont versées sur le cavalier formé par les dépôts antérieurs, l'eau est rapidement absorbée par la masse, et la matière devient en peu de temps très-poreuse et presque pulvérulente.

Sous l'influence de l'action oxydante de l'air, la charrée se transforme successivement; voici comment on peut expliquer cette transformation.

Tout d'abord, le sulfure de fer s'oxyde en donnant du peroxyde de fer; cette première réaction décolore la matière, qui du gris noirâtre passe au jaune clair.

Le sulfure de sodium, que retenait le sulfure de fer, est mis en liberté; il s'oxyde à son tour en même temps que le sulfure de calcium. L'oxygène se porte d'abord sur une partie du métal, et donne lieu à de la soude et à de la chaux, qui en présence de l'acide carbonique de l'atmosphère, se transforment en carbonate de soude et de chaux.

Le soufre mis en liberté par cette première oxydation, se porte sur le reste du métal, et donne lieu à des bisulfures de sodium et de calcium :



$$2CaS + O = CaO + CaS^2.$$

Les bisulfures, en s'oxydant, produisent des hyposulfites de soude et de chaux :



$$CaS^2 + 3O = CaO . S^2O^2.$$

En se dissolvant, l'hyposulfite du chaux se décompose, et donne du sulfite et du soufre libre; l'hyposulfite de soude, beaucoup plus stable, n'est pas sensiblement altéré :



$$CaO . S^2O^2 = CaO . SO^2 + S.$$

Les sulfites passent à l'état de sulfates; le soufre libre peut se porter sur les sulfures et bisulfures non oxydés, et produire des polysulfures.

En présence de l'eau de la charrée, une certaine quantité de sulfure de calcium pourrait aussi être décomposée, et donner du sulfhydrate de sulfure et de la chaux :



$$2CaS + HO = CaO + CaS . HS.$$

Le dégagement lent de l'acide sulfhydrique de ce sulfhydrate de sulfure expliquerait alors aisément l'odeur sulfhydrique que dégagent parfois les amas de charrée, surtout par les temps brumeux.

Du reste, l'action de l'air sur ce sulfhydrate donnerait naissance

à du bisulfure, tout comme l'oxydation du sulfure simple de calcium :



$$CaS.HS + O = HO + CaS^2.$$

Toutes ces différentes réactions ont lieu dans un temps variable avec les conditions atmosphériques; pendant les chaleurs, elles sont quelquefois si rapides que la masse s'échauffe au point de brûler le soufre mis en liberté, et de dégager des torrents d'acide sulfureux.

En définitive, la charrée complétement oxydée se compose de produits insolubles : sulfate et carbonate de chaux, silicate d'alumine, de chaux et de magnésie, soufre ; et de produits solubles : polysulfures de calcium et de sodium, hyposulfites de chaux et de soude. A ces derniers il faut ajouter un peu de sulfate de soude et de chlorure de sodium, et du sulfate de chaux dont la solubilité est rendue très-sensible par la présence des polysulfures.

Les eaux des pluies et celles que contenait primitivement la charrée dissolvent les produits solubles, et donnent lieu à un liquide jaune, alcalin et sulfuré, qui s'écoule à la base des dépôts.

Les réactions chimiques signalées plus haut peuvent être facilitées et régularisées par une bonne disposition des amas de charrée. Voici ce que l'on peut faire très-facilement sans augmenter beaucoup la main-d'œuvre relative au transport et au maniement de ces matières.

On établira le dépôt sur un terrain bien nivelé, sur lequel on aura battu une couche d'argile qui doit empêcher les liquides de pénétrer dans le sol; ce terrain sera entouré de fossés destinés à recueillir ces liquides, et revêtus également d'argile battue. On disposera la charrée en amas, sur 1 mètre à 1 mètre 1/2 de hauteur, entre lesquels on laissera des sillons réguliers qui seront remplis avec tous les débris de briques et de maçonnerie et les mâchefers de l'usine. Sur cette première épaisseur de matière, on en mettra une seconde, et ainsi de suite, en ayant soin de changer la direction des sillons à chacune d'elles. De cette manière, l'air pourra circuler par l'intermédiaire de ces sillons, d'une façon à peu près uniforme dans toutes les parties du tas, et l'oxydation marchera régulièrement. On fera venir au-dessus de l'amas des tuyaux amenant de l'eau, pour arroser les matières quand il sera nécessaire; on pourra ainsi faire des lixiviations de la masse. Ainsi disposés et traités, ces résidus s'oxyderont rapidement, et donneront finalement un mélange de carbonate et de sulfate de chaux qui constituera un bon amendement dont on pourra faci-

lement se débarrasser ; on évitera par cela même l'encombrement excessif qui résulte des dépôts de charrée aux abords des usines.

Les eaux jaunes qui s'écoulent des tas, et qui sont recueillies dans les fossés qui les entourent, peuvent être utilisées de plusieurs manières. Elles peuvent servir, soit à préparer des hyposulfites, soit à régénérer du soufre, soit enfin à neutraliser les résidus du chlore.

—Pour préparer les hyposulfites, on peut agir de deux manières :

1° Pendant la saison chaude, on fait écouler les eaux jaunes dans des bassins peu profonds et d'une grande étendue ; la liqueur se concentre par l'évaporation et s'oxyde à l'air; les polysulfures de calcium et de sodium donnent lieu à des hyposulfites de chaux et de soude, à du soufre libre, et à de la chaux et de la soude ; ces deux dernières bases se transforment en carbonates à l'air. Lorsque l'oxydation est terminée, on fait écouler la liqueur d'hyposulfite, et on lave le dépôt à l'eau chaude; ce dépôt renferme en effet souvent des hyposulfites cristallisés. Après lavage, ce dépôt est brûlé s'il contient une assez forte proportion de soufre, et sert à fabriquer l'acido sulfurique. On réunit toutes les liqueurs d'hyposulfites, on les laisse déposer, et on les décante après clarification ; elles sont alors traitées par une dissolution chaude et concentrée de sulfate de soude, en proportion convenable pour transformer en hyposulfite de soude tout l'hyposulfite de chaux ; il se produit du sulfate de chaux qui se dépose. On sépare la dissolution d'hyposulfite de soude, et par cristallisation on obtient un sel ayant pour formule :



$$NaO \,.\, S^2O^2 + 5HO.$$

2° Si l'on fait passer dans les eaux jaunes un courant d'acide sulfureux, de manière à les saturer presque complétement, les polysulfures sont décomposés, et il se produit des hyposulfites et des sels de la série des thionates; il se dépose du sulfate de chaux. La liqueur d'hyposulfite est traitée comme dans la méthode précédente.

Pendant les temps chauds, si les amas de charrée ne sont pas suffisamment arrosés, il se produit à leur surface des efflorescences cristallines, d'un blanc jaunâtre, et qui sont constituées par des hyposulfites de soude et de chaux. On les enlève et on les traite par l'eau. Quelquefois ces efflorescences sont tout à fait blanches; elles contiennent alors surtout du sulfate de soude.

— La régénération du soufre au moyen des eaux jaunes est basée sur le principe suivant : si l'on dirige l'oxydation de manière

qu'il se produise un équivalent d'hyposulfite pour deux de polysulfure, et que l'on traite les eaux par l'acide chlorhydrique, il tendra à se produire un dégagement d'acide sulfureux et d'hydrogène sulfuré en proportions convenables pour réagir immédiatement, et donner lieu à de l'eau et à du soufre libre. Il se produira en même temps une certaine quantité d'acides thioniques; mais néanmoins la majeure partie du soufre contenu dans les eaux jaunes sera régénérée.

Il existe plusieurs procédés pour arriver à ce résultat.

A Aussig, en Bohême, M. Schafner exposait les marcs de soude à l'action de l'air, en petits tas de 50 à 60 centimètres de hauteur, que l'on arrosait et que l'on retournait plusieurs fois. Au bout d'un temps variable, plusieurs mois au minimum, on lessivait la matière; le résidu subissait de nouveau le contact de l'air pendant quelques jours et était lessivé une seconde fois; les eaux faibles obtenues dans ce second lessivage étaient employées pour exécuter le premier, et amenées ainsi à la concentration voulue. Elles étaient ensuite traitées par l'acide chlorhydrique, et donnaient du soufre et de l'acide sulfureux ou de l'hydrogène sulfuré, suivant que l'hyposulfite ou le polysulfure était en excès; on cherchait toujours à éviter ce dernier cas.

A Stolberg, M. Hassenclever a employé, en le perfectionnant, le procédé de M. Schafner. Le traitement par l'acide chlorhydrique se fait dans un système de deux cuviers conjugués et remplis tous deux d'eaux jaunes à traiter : lorsqu'on verse l'acide dans l'un, les gaz, s'il s'en produit, se rendent dans l'autre où ils réagissent et sont absorbés par les eaux qui le remplissent; la réaction terminée, ce premier cuvier est vidé et rempli d'une nouvelle quantité d'eau jaune; on verse l'acide dans le second, et ainsi de suite.

Le dépôt de soufre ainsi obtenu contient toujours 8 à 10 pour 100 de sulfate de chaux que l'on sépare facilement en fondant le produit dans l'eau sous pression à 120 degrés.

Ce mode de traitement peut s'appliquer aux marcs provenant d'une fabrication ancienne, quand leur masse les a préservés d'une oxydation complète. Si cette oxydation n'a pas été suffisante, on l'amène au point voulu par l'exposition en petits tas à l'air, et dans un temps très-court.

Pour éviter la main-d'œuvre qui résulte de la mise en tas et du retournement des marcs de soude dans le traitement qui vient d'être décrit, M. Mond a eu l'idée de produire leur oxydation dans les bacs mêmes où ils se trouvent après leur lixiviation, au moyen d'un courant d'air injecté au fond de ces bacs par un ventilateur.

Lorsque cette oxydation est suffisante, on procède au lessivage, toujours dans les mêmes bacs.

Le grand inconvénient de ce procédé consiste dans l'augmentation du nombre des bacs et dans la nécessité de donner à ces vases deux ouvertures d'évacuation distinctes, l'une pour les lessives de soude, l'autre pour les eaux jaunes; il ne faut pas, en effet, que ces liquides puissent se mêler. En outre, il est assez difficile d'insuffler de l'air dans une matière comme la charrée, qui ressemble beaucoup à du sable délayé dans de l'eau, de manière à rendre uniforme l'action oxydante. Le courant gazeux se fraye en effet, à travers la masse, un chemin qu'il suit après, et il ne peut agir sur toutes les parties de cette masse. Il est vrai que l'on peut remédier à cet inconvénient en lessivant la matière après un certain temps d'oxydation, puis, redonnant le vent; le lessivage aura rendu homogène la charrée, et le nouveau courant d'air achèvera plus ou moins l'oxydation. Mais alors l'inconvénient d'augmenter le nombre des bacs devient plus grand encore.

— Lorsque l'usine fabrique à la fois le carbonate de soude et le chlore, il convient de traiter les résidus de chlore au moyen des eaux jaunes.

Ces résidus sont versés directement dans un bassin dans lequel les matières les plus lourdes en suspension se déposent; ils s'écoulent ensuite dans des canaux d'une assez grande longueur, et dans lesquels ils se clarifient complétement. Les matières déposées se composent d'un peu de manganèse fin, de sulfate de baryte, d'argile et de sable, et quelquefois de cristaux de chlorure de baryum si l'on traite des manganèses barytiques comme ceux de Romanèche.

La liqueur claire, colorée en jaune brun foncé, se rend dans des bassins de 2 à 3 mètres de profondeur. La capacité de ces réservoirs doit être telle que chacun d'eux puisse contenir environ les résidus produits en quarante-huit heures.

La liqueur marque environ 32 degrés B., et se compose d'une dissolution de sesquichlorures de fer et de manganèse, de protochlorure de manganèse, d'acide chlorhydrique, de chlore, de chlorures de baryum et de calcium.

L'analyse suivante, faite par M. W. Hoffmann, indique la composition d'un échantillon de résidu de chlore de l'usine de Dieuze, marquant 32 degrés B. à 15 degrés centigrades :

MnCl	24,70
Fe^2Cl^3	2,50
BaCl	1,30
Cl	0,07
HCl	3,60
HO	67,83
	100,00

Le premier traitement que l'on fait subir à ces résidus a pour but de leur enlever l'excès de chlore, et de ramener à l'état de protochlorures les chlorures de fer et de manganèse qu'ils contiennent. On emploie pour cela, soit le marc de soude lui-même, soit ce qui vaut mieux, les eaux jaunes des résidus de soude.

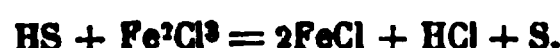
Lorsque l'on emploie la charrée, on l'introduit graduellement et par petites portions dans les résidus de chlore. Elle est immédiatement attaquée par l'acide chlorhydrique libre qui, réagissant sur le sulfure de calcium, le carbonate de chaux et la chaux, donne du chlorure de calcium et un dégagement d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré.

Ce dernier gaz tend à se dissoudre dans le liquide au fur et à mesure qu'il se produit; il réagit alors sur le chlore libre, reproduit de l'acide chlorhydrique et du soufre :



$$HS + Cl = HCl + S.$$

Il attaque aussi le perchlorure de fer, et le ramène à l'état de protochlorure, en donnant encore un dépôt de soufre et de l'acide chlorhydrique :



$$HS + Fe^2Cl^3 = 2FeCl + HCl + S.$$

On continue à ajouter de la charrée jusqu'au moment où la liqueur perd sa teinte jaunâtre et devient incolore; à ce moment la réaction est terminée, les perchlorures sont réduits, et le chlore libre a disparu ; mais il reste encore beaucoup d'acide chlorhydrique provenant, soit de l'acide qui existait tout d'abord dans la liqueur, soit des réactions précédemment indiquées. Si l'on continuait à ajouter de la charrée, cet acide chlorhydrique donnerait lieu à de l'hydrogène sulfuré qui se dégagerait. On doit donc chercher à ne pas dépasser le moment où la réduction des perchlorures est complète, afin d'éviter le dégagement d'hydrogène sulfuré qui exerce sur la santé des ouvriers une influence fâcheuse. A Dieuze, on a reconnu que cette influence se traduit par une inflammation des yeux qui finit par devenir très-douloureuse, mais que l'on peut combattre par des lotions d'acétate de plomb.

Lorsque l'on opère la réduction des résidus de chlore avec les eaux jaunes, on fait arriver ces dernières dans les bassins, au moyen de tuyaux verticaux plongeant jusqu'au fond; de cette manière, l'eau jaune qui est plus légère que le liquide traité, tend à monter à la surface, et le mélange s'effectue convenablement. Il convient d'employer des eaux jaunes à 12 ou 14 degrés B.; on agite le mélange de temps en temps.

L'acide chlorhydrique décompose à la fois les polysulfures et les hyposulfites de l'eau jaune, et donne du soufre et de l'hydrogène sulfuré avec les premiers, du soufre et de l'acide sulfureux avec les seconds. L'hydrogène sulfuré et l'acide sulfureux réagissent et donnent de l'eau et du soufre libre, avec quelques produits thioniques. L'excès d'hydrogène sulfuré se porte sur le chlore libre et les perchlorures, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Par l'emploi des eaux jaunes, on laisse les résidus de chlore beaucoup moins riches en acide chlorhydrique, et, pour un égal volume de ces derniers, on produit une quantité de soufre beaucoup plus grande; cela tient à la présence des hyposulfites dont la décomposition absorbe déjà une partie de l'acide, et dont le produit, l'acide sulfureux, peut décomposer l'hydrogène sulfuré provenant de l'action de cet acide sur les polysulfures. On peut pousser la réaction plus loin sans avoir pour cela de dégagement d'hydrogène sulfuré. Ainsi, par la charrée, 100 hectolitres de résidu de chlore donnent 35 à 37 kilogrammes de soufre, tandis qu'ils en produisent jusqu'à 150 kilogrammes et plus lorsqu'on emploie les eaux jaunes,

Quelle que soit la manière d'opérer, lorsque la réaction est complète, on laisse déposer le soufre, et l'on évacue le liquide clair dans une citerne; comme ce liquide est encore très-acide, on ne peut l'abandonner ainsi.

Le dépôt de soufre est lavé; il contient du sulfate de baryte lorsque le manganèse employé était barytique; ce sulfate de baryte provient de la réaction des sulfates solubles des eaux jaunes, sulfates de soude et de chaux, sur le chlorure de baryum des résidus. Le soufre est abandonné à la pluie qui achève de le laver, puis desséché et brûlé pour alimenter les chambres de plomb.

Pour achever la neutralisation complète des résidus de chlore, il reste à traiter la liqueur réduite et séparée du dépôt de soufre, que l'on a réunie dans des citernes. Pour cela, voici comment on opérait à Dieuze en 1866.

Trois grandes cuves de 60 à 90 hectolitres chacune, en bois doublé de plomb ou goudronné de manière à le rendre inatta-

quable par les acides faibles, sont placées sur un même niveau et en triangle. Elles sont munies chacune d'un double fond percé de petites ouvertures, et placé à 15 centimètres au-dessus du véritable fond.

Au-dessous du double fond, débouchent deux tubes; l'un amène la liqueur à traiter; l'autre, qui servira à évacuer le liquide traité, se rend dans un fossé étanche de 1 mètre environ de profondeur; il vient déboucher au fond d'un vase cylindrique placé verticalement dans ce fossé ; de cette manière, le liquide ne peut s'écouler que par-dessus les bords de ce vase, et jamais le tuyau d'évacuation ne communique avec l'atmosphère ; quelle que soit la hauteur du liquide dans le fossé, il y a fermeture hydraulique.

Chacune de ces cuves communique avec les deux autres par deux tuyaux horizontaux placés à $0^m,30$ au-dessous des couvercles de ces cuves. Tous ces tuyaux sont munis de robinets.

Le couvercle de chaque cuve, qui la ferme exactement, est percé de deux ouvertures : une grande, qui peut être fermée par un obturateur maintenu par une vis de pression, et qui sert à l'introduction de la charrée dans la cuve, et une plus petite d'où part un tuyau destiné à conduire dans un barboteur les gaz qui se dégagent dans la cuve.

Supposons les trois cuves remplies de charrée jusqu'au niveau des tubes de communication, et tous les robinets fermés.

On ouvre le robinet du tuyau amenant le liquide à traiter dans la cuve n° 1 ; ce liquide remplit d'abord l'intervalle compris entre les deux fonds, puis monte dans la cuve où il se trouve en contact avec la charrée. Alors l'acide chlorhydrique libre contenu dans ce liquide réagit sur le sulfure de calcium, le carbonate de chaux et la chaux de la charrée, et donne lieu à un dégagement d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré qui s'échappent par le tuyau de sortie et se rendent au barboteur. En ouvrant plus ou moins le robinet de ce tuyau, on rend cet échappement aussi lent qu'on le désire, et l'on fait en sorte que les gaz prennent dans la cuve la tension nécessaire pour empêcher le liquide à traiter d'y pénétrer trop rapidement; en un mot, on règle à volonté l'admission du liquide. Peu à peu, la réaction s'affaiblit, la tension des gaz diminue, et le liquide monte dans la cuve. Cette réaction est complète lorsque le fer se précipite, car lorsque tout l'acide chlorhydrique est saturé, le protochlorure de fer et le sulfure de calcium réagissent en produisant du sulfure de fer et du chlorure de calcium :



$$FeCl + CaS = FeS + CaCl.$$

Le chlorure de manganèse, au contraire, n'est pas attaqué par le sulfure de calcium. Mais pour que la précipitation du fer soit complète, il faut que le sulfure de calcium soit en grand excès; aussi, dès que le liquide atteint le niveau du tuyau de communication avec la cuve n° 2, on ouvre le robinet de ce tuyau; alors la liqueur, privée d'acide chlorhydrique, et dans laquelle la précipitation du fer est déjà avancée, se rend dans cette cuve n° 2 où elle se trouve en contact d'un excès de charrée fraîche qui achève de transformer tout le fer à l'état de sulfure. On ouvre convenablement le robinet d'évacuation de cette même cuve, et la dissolution de chlorure de calcium et de chlorure de manganèse se rend dans le fossé.

Lorsque la charrée placée dans la cuve n° 1 est épuisée, c'est-à-dire lorsqu'elle ne renferme plus de sulfure de calcium, on ferme le robinet d'admission du liquide et la communication avec la cuve n° 2. On laisse s'écouler complétement dans le fossé le liquide de la cuve n° 2, puis on ferme le tuyau d'évacuation de cette cuve; on ouvre le tuyau d'admission et le tube à dégagement, et l'opération continue avec les cuves n°s 2 et 3, comme elle a été conduite avec les cuves n°s 1 et 2.

La cuve n° 1 est abandonnée à elle-même; tout d'abord, les gaz se dégagent encore faiblement; mais au bout de quelques heures le dégagement s'arrête, et l'on peut fermer le tuyau conduisant au barboteur. L'hydrogène sulfuré dissous dans le liquide disparaît même complétement. Cet effet peut être attribué à la chaux de la charrée qui, décomposant une partie du chlorure de manganèse, met en liberté du protoxyde de manganèse qui se sulfure immédiatement et se précipite avec le sulfure de fer.

Au bout de trente-six heures, toute réaction a cessé et le liquide est complétement neutralisé; on le fait alors écouler dans le fossé, et l'on extrait de la cuve le précipité de sulfure de fer et le résidu de la charrée. Ces matières sont transportées sur les tas de charrées; l'oxydation du sulfure de fer favorise, comme nous l'avons vu plus haut, l'action de l'air, et la charrée se transforme plus rapidement. La cuve n° 1 est alors remplie de charrée fraîche, et elle fonctionnera ensuite avec la cuve n° 3, lorsque la cuve n° 2 sera épuisée.

Pour établir un roulement régulier, on déterminera à l'avance, par des expériences en petit, les proportions relatives de liquide à traiter et de charrée fraîche qu'il faut mettre en présence pour obtenir une réaction complète.

Comme on le voit, le principe de ce traitement est le suivant:

la charrée fraîche, dans laquelle le sulfure de calcium est en excès, est d'abord mise en contact avec une liqueur ne renfermant plus d'acide chlorhydrique libre, mais contenant encore du fer qui est précipité par l'action de ce sulfure ; elle est ensuite traitée par la liqueur acide qui achève de la décomposer en se neutralisant elle-même et en perdant son acide chlorhydrique libre et une partie de son fer ; elle perdra ensuite le reste de son fer au contact de la charrée fraîche.

— Il reste à dire maintenant l'emploi que l'on faisait à Dieuze des deux produits obtenus dans l'opération précédente : la liqueur de chlorure de manganèse et de calcium, et le mélange d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré.

La dissolution de chlorure est conduite dans des grands bassins disposés en deux séries dont l'une sert à la précipitation du manganèse, et l'autre au lavage du précipité. Le premier bassin étant rempli à moitié au plus, on y fait arriver des eaux jaunes et l'on agite pour obtenir un mélange homogène ; ces dernières sont en quantité suffisante pour précipiter le manganèse, mais sans excès. Les polysulfures qu'elles contiennent sont décomposés par le chlorure de manganèse, et il se forme des chlorures de calcium et de sodium et un précipité de sulfure de manganèse et de soufre libre. On laisse la liqueur se déposer ; on la fait passer dans le second bassin où elle se dépose encore, puis dans le troisième, etc., de manière à rejeter finalement un liquide bien clair, ne renfermant presque plus de composés sulfurés, tout au plus un peu d'hyposulfite.

Le précipité est ensuite lavé à l'eau claire ; les eaux de lavage sont versées de bassin en bassin pour se clarifier complétement. Il faut laver à trois ou quatre reprises différentes. Le mélange de sulfure de manganèse et de soufre est alors enlevé, séché, et brûlé pour alimenter les chambres de plomb. Le résidu de la combustion est un mélange d'oxyde et de sulfate de manganèse.

Au sortir du barboteur, le mélange gazeux d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré est dirigé dans une caisse en tôle à double fond et remplie de charrée fraîche et chaude ; en traversant cette matière, l'acide carbonique réagit sur le sulfure de calcium en présence de l'eau, et donne un égal volume d'hydrogène sulfuré :



$$CaS + HO + CO^2 = CaO \, . \, CO^2 + HS.$$

De plus, en traversant cette caisse, le mélange gazeux perd la petite quantité d'oxygène qu'il contenait et qui oxyde le sulfure

de calcium de la charrée; on annule ainsi les chances d'explosion qui du reste étaient bien faibles; cet oxygène provient des cuves; lorsqu'on les met en marche, elles sont en effet remplies d'air.

Le meilleur moyen d'utiliser l'hydrogène sulfuré ainsi produit, consiste à le brûler avec un excès d'air; il se produit alors de l'acide sulfureux et de la vapeur d'eau. On pourrait croire *à priori* que ce qu'il y aurait de mieux à faire de ce dernier mélange gazeux, ce serait de le faire passer dans les chambres de plomb. Mais on peut facilement se rendre compte de la difficulté de la réussite de cette opération.

En effet, si l'on brûle du soufre pur, il faut pour la combustion de 1 kilogramme, 1 kilogramme d'oxygène, soit 703 litres d'oxygène ou 3515 litres d'air; cette combustion entraîne donc dans les chambres de plomb 2812 litres d'azote. De plus, pour transformer en acide sulfurique l'acide sulfureux ainsi produit, il faut introduire dans les chambres 352 litres d'oxygène, soit 1 760 litres d'air contenant 1 408 litres d'azote.

En définitive, pour transformer 1 kilogramme de soufre en acide sulfurique, il faut faire pénétrer dans les chambres de plomb 5275 litres d'air, contenant 4220 litres d'azote.

Si l'on brûle des pyrites pures, et qu'on admette qu'elles soient complétement brûlées, c'est-à-dire que le résidu de la combustion soit du peroxyde de fer, on trouve qu'il en faut 1k,875 pour donner la même quantité d'acide sulfurique que 1 kilogramme de soufre. On devra donc introduire dans les chambres de plomb, outre l'air nécessaire à la transformation du soufre en acide sulfurique, une quantité d'air suffisante pour brûler 875 grammes de fer, et les amener à l'état de peroxyde de fer, soit 1 320 litres, contenant 1 056 litres d'azote. La quantité totale d'air employée sera donc de 6595 litres, contenant 5 276 litres d'azote.

Si maintenant on brûle de l'hydrogène sulfuré, il en faut 1 062gr,5 pour équivaloir à 1 kilogramme de soufre; il faudra donc, outre l'air nécessaire au soufre, introduire l'air nécessaire à brûler 62gr,5 d'hydrogène, c'est-à-dire 760 litres, renfermant 1 408 litres d'azote. La quantité totale d'air sera donc de 7035 litres, contenant 5 628 litres d'azote.

En résumé, pour brûler 1 kilogramme de soufre, il faut introduire dans les chambres :

Pour le soufre libre.	4 220 litres d'azote.
Pour les pyrites.	5 276 —
Et pour l'hydrogène sulfuré.	5 628 —

Ces chiffres sont des minimums.

On comprend alors que la proportion d'azote finisse par devenir trop grande et empêcher, ou du moins rendre impossible pratiquement, la réaction de l'oxygène sur l'acide sulfureux dans les chambres. Cependant les deux derniers nombres ne sont pas tellement différents qu'on ne puisse espérer surmonter les difficultés. Les essais qui ont été faits jusqu'ici avaient lieu dans des conditions très-défavorables; on opérait en effet sur le mélange d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré. L'acide carbonique, en diluant encore les gaz, devait nécessairement augmenter la difficulté de la réaction.

L'emploi le plus commode du gaz hydrogène sulfuré consiste à le brûler complétement, si l'on a le placement avantageux de l'acide sulfureux pour la fabrication de sulfites et autres produits, ou incomplétement, de manière à obtenir du soufre et de l'eau dans le cas contraire.

Pour arriver à ce but, on avait construit à Dieuze un brûleur spécial, dans lequel le gaz hydrogène sulfuré arrivait dans une petite couronne annulaire. Un tuyau central muni d'une valve permettait de faire arriver au centre de la flamme la quantité d'air voulue; le tout était emprisonné dans une cheminée percée à la base d'ouvertures qu'on faisait varier à volonté, afin de régler également la quantité d'air qui arrivait à l'extérieur. De cette manière on pouvait avoir à volonté la combustion complète ou incomplète de l'hydrogène sulfuré.

Dans le cas de la combustion complète, on utilisait l'acide produit pour préparer des sulfites, des bisulfites et des hyposulfites.

Pour préparer du sulfite de soude, on fait rendre le gaz acide sulfureux, refroidi par un courant d'eau tombant en pluie dans le tube de dégagement, dans des caisses contenant du carbonate de soude disposé sur des claies. Le sulfite formé se dissout dans l'eau de cristallisation, et tombe au fond de la caisse.

Si l'on veut obtenir du bisulfite de soude, on fera agir le gaz sur la dissolution de sulfite, de manière qu'il y ait contact intime et prolongé.

On peut aussi préparer des bisulfites de chaux, d'alumine, etc., en faisant agir l'acide sulfureux sur un lait de chaux, sur de l'alumine en gelée ou sur un mélange d'alun et de chaux délayé dans de l'eau.

On préparera économiquement le bisulfite de soude en opérant sur un mélange à équivalents égaux de chaux et de sulfate de soude délayé dans de l'eau; il se forme du bisulfite de chaux qui réagit

immédiatement sur le sulfate de soude et produit du sulfate de chaux et du bisulfite de soude.

Pour préparer des hyposulfites, on introduit dans les caisses de la charrée fraîche bien broyée et délayée dans quatre à cinq fois son poids d'eau, ou mieux encore, dans une dissolution de polysulfures.

L'acide sulfureux réagit sur les sulfures de calcium et de sodium et sur la chaux libre, et produit des hyposulfites; il n'attaque pas le carbonate de chaux, pourvu que la charrée soit toujours maintenue en excès. Ici, il ne faut pas refroidir le gaz sulfureux, une certaine élévation de température favorisant la réaction qui elle-même produit un échauffement sensible. Mais on ne doit pas laisser cette température s'élever notablement, car alors l'hyposulfite de chaux se décomposerait en donnant du sulfite et du soufre libre.

On peut aussi introduire dans les caisses, en même temps que la charrée, les précipités de sulfures de fer et de manganèse recueillis précédemment; il se forme alors des hyposulfites de fer et de manganèse qui, au contact de la chaux de la charrée, se transforment en hyposulfites de chaux.

Lorsque la dissolution d'hyposulfite marque 12° B., on arrête l'opération. Tout le contenu des caisses s'écoule dans un bassin où la dissolution se clarifie; elle est retirée, évaporée lentement, si l'on veut avoir de l'hyposulfite de chaux. Le plus souvent on la traite par le sulfate de soude pour obtenir de l'hyposulfite de soude. Le sulfate de chaux qui se produit dans cette réaction, après avoir été pressé pour en extraire toute la liqueur, retient encore un peu de soude; il peut être pour cela employé très-avantageusement pour la fabrication du papier.

La dissolution d'hyposulfite de soude, qui ne tend pas à se dédoubler en soufre et en sulfite, peut être évaporée assez rapidement à 100 degrés, et concentrée jusqu'à ce qu'elle cristallise par refroidissement. Lorsqu'elle est amenée à cet état, on la laisse reposer un instant pour déposer le sulfate de chaux qui s'est précipité pendant l'évaporation, puis on la fait passer dans les cristallisoirs. Au bout de quarante-huit heures on fait écouler les eaux-mères qui rentrent dans le courant de la fabrication.

Si l'emploi de l'acide sulfureux tel qu'il vient d'être décrit n'est pas possible, ce qu'il y a de mieux à faire pour utiliser l'hydrogène sulfuré, c'est de le brûler incomplétement, de manière à obtenir du soufre et de l'eau. On fait rendre le produit de la combustion dans une longue caisse à cloisons verticales incomplètes,

et au fond de laquelle se trouve de l'eau; l'extrémité de cette caisse communique avec une cheminée d'appel. Le soufre se condense dans la caisse; sa précipitation est bien favorisée par la condensation de la vapeur d'eau qui l'accompagne.

L'eau qui se trouve dans la caisse prend très-vite une réaction acide due à de l'acide sulfureux et à de l'acide pentathionique. Le premier est produit par la combustion d'un peu de soufre, le second par la réaction du premier sur de l'hydrogène sulfuré non brûlé. On comprend facilement en effet, qu'on ne peut pratiquement régler l'admission d'air, de manière à obtenir exactement la réaction voulue.

Le soufre ainsi produit se dépose en plaques sur les cloisons de la caisse et en boue dans l'eau qui garnit le fond. Il est d'un beau jaune, et sert à alimenter les chambres de plomb.

—Tel était le procédé suivi à Dieuze en 1866. Depuis, ce procédé s'est considérablement modifié; mais le principe fondamental est resté le même. L'utilisation des résidus se fait uniquement par ces résidus eux-mêmes, sans l'emploi d'aucune substance étrangère, et les matières provenant du traitement sont ou utilisables par l'industrie, ou complétement inoffensives.

Les principaux perfectionnements apportés au procédé qui vient d'être décrit sont les suivants :

1° Abandon de l'emploi de la charrée fraîche pour le traitement des résidus de chlore et suppression des dégagements d'hydrogène sulfuré;

2° Oxydation rapide des charrées et production de deux liqueurs jaunes de composition différente, mais appropriées aux traitements ultérieurs;

3° Préparation de la dissolution de chlorure de manganèse sans l'obligation de recueillir le sulfure de fer;

4° Enfin, utilisation rationnelle du sulfure de manganèse.

Nous allons examiner successivement ces différents points avec quelque détail.

1° L'emploi de la charrée fraîche pour la neutralisation des résidus de chlore présente des inconvénients. Renfermant une proportion notable de chaux et de carbonate de chaux, une grande partie de l'acide chlorhydrique des résidus est employée en pure perte pour les transformer en chlorure de calcium, substance plus nuisible que la chaux et son carbonate. De plus, le dégagement d'acide carbonique qui accompagne celui d'hydrogène sulfuré rend ce dernier moins utilisable; il faut le purifier. Enfin, le maniement d'un gaz délétère et infectant comme l'hydrogène sulfuré

présente toujours de grandes difficultés. Il était donc plus rationnel de chercher à utiliser tout l'acide chlorhydrique en le faisant réagir sur des composés sulfurés donnant, non de l'hydrogène sulfuré, mais des dépôts de soufre. C'est ce à quoi on est arrivé à Dieuze, et ce n'est plus qu'accidentellement qu'il se produit des dégagements d'hydrogène sulfuré. Toute la charrée est soumise aux opérations d'oxydation ayant pour but de concentrer le soufre dans des liqueurs jaunes.

2° Cette oxydation est l'opération la plus importante de toutes celles qui constituent le procédé. On avait déjà observé, comme il est dit plus haut, que la présence du sulfure de fer ou de manganèse dans la charrée active son oxydation, et que le chlorure de fer peut réagir sur le sulfure de calcium en donnant du sulfure de fer et du chlorure de calcium, tandis que le chlorure de manganèse n'est pas attaqué dans le même cas. C'est pourquoi on essaya de produire ce sulfure de fer au sein même de la masse de charrée en l'arrosant avec les résidus de chlore soit acides, soit neutralisés. M. Hofmann étudia de très-près ce point important et reconnut que, ainsi arrosée, la charrée s'échauffe, s'oxyde très-rapidement, et donne ensuite par lixiviation des eaux jaunes qui, traitées par un sel neutre de fer ou de manganèse, ne donnent plus d'hydrogène sulfuré tout en produisant une quantité considérable de soufre libre. Il remarqua en outre qu'après une première oxydation et lixiviation, les eaux jaunes obtenues renferment surtout des polysulfures, et une quantité relativement faible d'hyposulfites (c'est pourquoi elles sont appelées *eaux jaunes sulfurées*), mais que le résidu de cette opération contient encore beaucoup de soufre à l'état de sulfure. Ce résidu est donc encore susceptible d'une nouvelle oxydation. Mais alors, la lixiviation en extrait des eaux jaunes renfermant surtout des hyposulfites, et dans lesquelles la proportion des polysulfures est relativement faible ; ces dernières sont dites *eaux jaunes oxydées*. Le résidu de cette lixiviation ne contient plus de sulfure ; tout le soufre s'y trouve à l'état de sulfate. A l'état sec, il a, d'après M. Hofmann, la composition suivante :

Sulfate de chaux	66,248
Carbonate de chaux	1,320
Chaux	20,982
Fer et alumine	7,000
Oxyde de manganèse	1,500
Matières insolubles dans les acides	2,800
	99,850

On peut rendre compte des réactions qui se passent dans ces opérations de la manière suivante :

Le chlorure de fer réagit sur le sulfure de calcium, et donne du sulfure de fer et du chlorure de calcium :



$$FeCl + CaS = FeS + CaCl.$$

Le sulfure de fer très-divisé s'oxyde très-rapidement à l'air, et donne du peroxyde de fer hydraté, du soufre et un peu de sulfate :



$$2FeS + 3O = Fe^2O^3 + 2S.$$



$$FeS + 4O = FeO . SO^3.$$

Ce soufre mis en liberté se porte sur le sulfure de calcium, et le fait passer à l'état de polysulfure.

D'autre part, le sulfate de fer réagit sur le sulfure de calcium, et donne du sulfate de chaux et du sulfure de fer :



$$FeO . SO^3 + CaS = CaO . SO^3 + FeS.$$

L'oxyde de fer réagit aussi, et produit de la chaux, du sulfure de fer et du soufre :



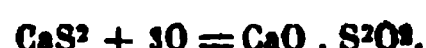
$$Fe^2O^3 + 3CaS = 2FeS + S + 3CaO.$$

Il est probable que le sulfure de calcium lui-même s'oxyde et produit de l'oxysulfure soluble de calcium correspondant au bisulfure :



$$CaS + O = CaS . O.$$

Il en est de même du bisulfure qui produit alors de l'hyposulfite :



$$CaS^2 + 3O = CaO . S^2O^2.$$

Il résulte de là que le soufre de la charrée se trouve en grande partie transformé en produits sulfurés solubles. La plupart de ces produits renferment deux équivalents et plus de soufre pour un de calcium ; par suite leur traitement par l'acide chlorhydrique libre ou combiné donnera un dépôt de soufre. La composition du polysulfure de calcium dissous se rapproche beaucoup de celle du trisulfure CaS^3.

C'est à l'aide des eaux jaunes ainsi obtenues que l'on produit la saturation des résidus acides de chlore. Si les eaux sulfurées étaient employées seules, il se produirait de l'hydrogène sulfuré ; les eaux oxydées donneraient au contraire de l'acide sulfureux ; en employant leur mélange en proportion convenable, ces deux gaz réagissent, et produisent du soufre et de l'eau. La réaction peut être représentée par la formule suivante :



$$CaO . S^2O^2 + 2CaS^3 + 3HCl = 3CaCl + 3HO + 8S.$$

Il est pratiquement très-facile d'obtenir les proportions voulues dans le mélange des eaux jaunes. Si les bassins où se fait la neutralisation des résidus de chlore dégagent une odeur sulfhydrique, on augmente un peu la quantité d'eaux jaunes oxydées; on la diminue au contraire si l'odeur est sulfureuse. De cette manière, on arrive facilement à n'avoir aucun dégagement gazeux dans les bassins de saturation.

Le mélange des eaux jaunes peut aussi servir très-avantageusement à la condensation complète des vapeurs d'acide chlorhydrique venant des fours à sulfate de soude, et qui s'échappent des appareils de condensation. A la suite de ces appareils, on a placé à Dieuze une caisse renfermant le mélange d'eaux jaunes, et dans laquelle une roue à palettes tournant rapidement maintenait le liquide sous forme de pluie. On reconnut alors que la condensation des vapeurs acides était complète, et que le liquide devenait rapidement laiteux, par suite de la précipitation du soufre. Rassemblé dans un bassin, ce liquide donne un dépôt de soufre.

On conçoit qu'en plaçant un ou plusieurs appareils semblables près de la grande cheminée d'appel, et en forçant tous les gaz des fours à sulfate à les traverser, on se débarrasse complétement des vapeurs d'acide chlorhydrique, et cela d'une manière très-avantageuse.

3° Lors de la neutralisation des résidus de chlore, on introduit dans les bassins une quantité d'eaux jaunes suffisantes pour détruire tout l'acide libre et réduire tout le perchlorure de fer à l'état de protochlorure; vers la fin de l'opération, on voit le précipité de soufre se noircir un peu, par suite de la présence d'un peu de sulfure de fer qui commence à se produire.

La dissolution neutre de chlorure de fer, de manganèse et de calcium, traitée par les eaux jaunes sulfurées en quantité convenable, donnerait d'abord un précipité de sulfure de fer; mais ce sulfure est gélatineux, se lave très-mal, et il est difficile à manier. Comme il doit être ensuite mélangé avec la charrée pour activer l'oxydation de cette dernière, il était plus rationnel et plus commode de le produire dans la masse même de cette charrée; c'est ce qu'on fait aujourd'hui à Dieuze.

La liqueur neutre est traitée par la charrée en excès. Le sulfure de calcium réagit sur le chlorure de fer sans attaquer le chlorure de manganèse, et il se produit du sulfure de fer qui tombe au fond du bassin avec la charrée en excès; on reconnaît que l'opération est terminée lorsque le manganèse commence à se sulfurer, ce qui fait passer le précipité au jaune. On fait alors écouler la liqueur,

et l'on retire du bassin la masse de charrée et de sulfure de fer que l'on mélange avec les charrées fraîches pour hâter leur oxydation. Pour cette dernière opération, il n'est plus dès lors nécessaire d'arroser la matière avec des résidus de chlore.

4° La dissolution de chlorure de manganèse et de calcium, traitée par les eaux jaunes sulfurées, donne du sulfure de manganèse mélangé de soufre, qui se dépose dans les bassins. Ce sulfure se lave très-bien ; après lavage, on le sèche et on le brûle pour alimenter les chambres de plomb. Le résidu de la combustion présente, d'après M. Hofmann, la composition suivante :

Sulfate de protoxyde de manganèse	44,50
Peroxyde de manganèse	18,90
Protoxyde de manganèse	36,60
	100,00

Ce résidu peut être traité de deux manières :

Si on le lave à l'eau chaude, le sulfate de manganèse se dissout ; il reste un résidu d'oxyde très-pur, et pouvant servir dans les verreries ou dans la fabrication des manganates et permanganates de soude et de potasse. Voici quelle est sa composition :

MnO^2	34,06
MnO	65,94
	100,00

a. La dissolution de sulfate de manganèse, évaporée à consistance sirupeuse, peut être employée à la place de l'acide sulfurique pour décomposer le nitrate de soude destiné à la production des vapeurs nitreuses dans les chambres de plomb. En chauffant les deux sels ensemble, on obtient en effet du sulfate de soude, de l'oxyde de manganèse et de l'acide hypoazotique :



$$MnO . SO^3 + NaO . AzO^5 = NaO . SO^3 + AzO^4 + MnO^2.$$

Le mélange d'oxyde de manganèse et de sulfate de soude, traité par l'eau, donne une dissolution de sulfate alcalin très-pur, et un oxyde de manganèse renfermant 65 à 70 pour 100 de bioxyde.

b. Si l'on mélange le résidu de manganèse non lessivé avec du nitrate de soude, et que l'on chauffe, la réaction précédente se produit encore; après lixiviation pour enlever le sulfate de soude, il reste un oxyde de manganèse pur, renfermant 55 pour 100 de bioxyde.

En résumé, le procédé suivi actuellement à Dieuze pour le traitement des résidus de soude et de chlore est le suivant :

Les marcs de soude, mélangés de sulfure de fer, sont oxydés et lavés à deux reprises différentes; on obtient ainsi les eaux jaunes sulfurées et les eaux jaunes oxydées.

Ces eaux jaunes, mélangées en proportion convenable, sont traitées par les résidus acides de chlore et les fumées d'acide chlorhydrique non retenues par les appareils de condensation; il se produit une dissolution neutre de chlorures de protoxyde de fer et de manganèse et de chlorure de calcium, avec un dépôt de soufre, sans dégagement de gaz.

Cette dissolution, traitée par un excès de charrée, donne le sulfure de fer dont il est question plus haut, et une nouvelle liqueur neutre de chlorures de manganèse et de calcium.

Cette liqueur, traitée par l'eau jaune sulfurée, donne une dissolution de chlorure de calcium que l'on abandonne, et un précipité de sulfure de manganèse et de soufre. Ce précipité, brûlé pour alimenter les chambres de plomb, est ensuite traité par le nitrate de soude; il se produit des vapeurs nitreuses pour les chambres, du sulfate de soude qui rentre dans la fabrication, et de l'oxyde de manganèse pur.

A l'aide de ce procédé, pendant le dernier semestre de 1867, on a régénéré 281 821 kilogrammes de soufre brut, dont le prix de revient a été de 4^{f},34 les 100 kilogrammes, et 4753 kilogrammes de soufre purifié, au prix de 5^{f},55 les 100 kilogrammes.

---

46. *Recherches chimiques sur les ciments hydrauliques;*

Par M. E. Fremy.

(*Comptes rendus*, t. LX. p. 993; t. LXVII, p. 1205.)

Les quatre corps constitutifs des ciments hydrauliques sont les suivants :

1° Le silicate de chaux;

2° Le silicate d'alumine et de chaux;

3° L'aluminate de chaux;

4° La chaux caustique.

Silicates de chaux. — Les silicates de chaux ont été produits synthétiquement par toutes les méthodes possibles de la voie sèche et de la voie humide. On a fait varier autant que possible leur composition et la température de leur calcination; ils ont été obtenus agrégés, frittés et fondus.

Dans aucun cas, après réduction en poudre impalpable, ils n'ont fait prise avec l'eau.

Silicates doubles d'alumine et de chaux. — Un très-grand nombre de ces silicates doubles ont été préparés avec les méthodes et les proportions les plus diverses. Comme les silicates simples de chaux, dans aucun cas ils n'ont fait prise avec l'eau.

Aluminates de chaux. — On a préparé, à l'aide d'alumine et de chaux pures, un grand nombre d'échantillons d'aluminates ayant les compositions les plus diverses. On a ainsi constaté que l'alumine était un très-bon fondant pour la chaux ; les mélanges contenant 90 de chaux et 10 d'alumine ont été complétement fondus au fourneau à vent ; le mélange de 93 de chaux et 7 d'alumine s'est fritté et presque fondu.

Les aluminates très-basiques de chaux, mis au contact de l'eau, foisonnent et se délitent comme de la chaux grasse. Il n'en est plus de même pour les composés se rapprochant des formules suivantes :



$$Al^2O^3 . CaO ; \quad Al^2O^3 . 2CaO ; \quad Al^2O^3 . 3CaO.$$

Gâchés avec une petite quantité d'eau, ils font prise presque instantanément ; ils possèdent la propriété d'agglomérer les matières inertes, comme le quartz, en donnant des pierres très-dures.

En calcinant à des températures variables des aluminates de même composition, on a reconnu que la prise était d'autant plus rapide que la calcination avait été faite à une température plus élevée.

Chaux. — Il existe un certain nombre de substances naturelles ou artificielles, nommées pouzzolanes, qui, mélangées avec de la chaux grasse et gâchées avec de l'eau, donnent lieu à la formation d'une masse qui se durcit rapidement et devient très-solide.

Ce durcissement ne peut être expliqué par la simple agglomération de la matière par la chaux qui durcirait en se carbonatant.

Ces pouzzolanes ont des compositions variables ; le plus souvent elles renferment de la silice, de l'alumine et de la chaux, unies à certaines matières étraugères, comme l'oxyde de fer, la magnésie, etc.

Mais la présence de la chaux n'est nullement indispensable dans la pouzzolane.

En calcinant des argiles très-pures, représentées à peu près exactement par la formule



$$3SiO^3 . Al^2O^3 . 2HO,$$

on obtient en effet une pouzzolane excellente, dont les propriétés ne sont pas modifiées sensiblement par l'adjonction d'autres matières en certaine proportion. Il faut que la calcination de l'argile ait lieu vers 700 degrés; au-dessous, elle ne se déshydrate pas complétement; au-dessus, ses propriétés deviennent de plus en plus lentes à se manifester.

Les silicates de chaux, simples ou multiples, constituent d'excellentes pouzzolanes lorsqu'ils sont assez basiques pour faire gelée avec les acides, c'est-à-dire lorsqu'ils ne contiennent pas plus de 30 à 40 pour 100 de silice.

De ce qui précède on peut conclure :

Que les silicates simples ou multiples de chaux ne peuvent donner par eux-mêmes des propriétés hydrauliques aux ciments, car, isolés, ils ne font pas prise avec l'eau ;

Que les aluminates de chaux peuvent être des agents très-actifs de ces mêmes ciments, surtout lorsqu'ils ont été préparés à haute température ;

Enfin, que la chaux grasse, en présence des silicates simples ou multiples agissant comme pouzzolanes, peut être pour beaucoup dans la prise des ciments.

Pour vérifier cette dernière conclusion, on opéra sur le ciment de Pouilly. En le traitant par l'eau ou l'eau sucrée, on dissout une quantité notable de chaux ; en le soumettant à l'action de l'acide chlorhydrique trop étendu pour attaquer les silicates, on peut enlever toute la chaux libre. Le résidu, composé de silice, alumine, chaux et oxyde de fer combinés, ne faisait plus prise avec l'eau ; il était cependant attaquable par l'acide chlorhydrique concentré avec formation d'abondante gelée. En mélangeant à ce résidu de la chaux grasse, on lui rendit toutes les propriétés primitives du ciment de Pouilly.

Il semble donc que la prise d'un ciment hydraulique soit due aux deux causes suivantes : hydratation des aluminates de chaux ; action de la chaux libre sur les silicates agissant comme pouzzolanes.

Dans ce cas, la calcination d'un calcaire argileux ne donnerait un bon ciment hydraulique que lorsque sa composition permettrait la formation d'un aluminate de chaux, de silicates simples ou multiples de chaux pouvant agir comme pouzzolanes, et de chaux grasse en proportion correspondante à celle des silicates.

---

47. *Sur l'hydraulicité de la magnésie et des chaux magnésiennes;*

Par MM. Sainte-Claire-Deville et Grace-Calvert.

(*Comptes rendus*, t. LXI, p. 975 et 1168.)

Un échantillon de magnésie, provenant de la décomposition du chlorure de magnésium des eaux-mères des salines du midi, laissé pendant plusieurs mois sous un robinet d'eau courante, devint assez dur pour rayer le marbre dont il acquit la densité et la ténacité, et translucide comme l'albâtre sous une faible épaisseur. Au bout de six années d'exposition à l'air, cette matière ne s'est nullement altérée. Sa composition était alors la suivante :

Eau	27,7
Acide carbonique	8,3
Alumine et oxyde de fer	1,3
Magnésie	57,1
Sable	5,6
	100,0

La petite quantité d'acide carbonique contenue dans cette substance semble indiquer qu'elle est essentiellement formée d'hydrate de magnésie, et que c'est cet hydrate et non le carbonate qui constitue la matière hydraulique.

Pour s'en assurer, on a préparé de la magnésie pure en calcinant de l'azotate, on en a fait une pâte avec de l'eau bouillie, et l'on a enfermé le tout dans un tube scellé à la lampe, afin d'empêcher l'absorption de l'acide carbonique de l'air. La magnésie s'est peu à peu durcie, et a pris toutes les propriétés de l'échantillon précédent. Deux analyses faites après dessiccation à l'air ont donné les résultats suivants :

Eau	31,7	30,7
Magnésie	68,3	69,3
	109,0	100,0

C'est donc un hydrate simple de magnésie.

La magnésie obtenue par la calcination de l'hydrocarbonate donne, avec l'eau, une matière talqueuse et moins tenace que celle obtenue avec la magnésie du chlorure.

Lorsque cette dernière a été calcinée au rouge vif, ses propriétés hydrauliques se manifestent beaucoup plus rapidement. Mais si on la laisse pendant douze heures à la chaleur blanche, elle ne fait plus prise avec l'eau qu'au bout d'un contact très-prolongé, et très-lentement.

Un mélange de craie ou de marbre pilé et de magnésie donne, avec l'eau, une pâte un peu plastique, qui se moule bien, et qui donne, au bout de quelque temps de séjour dans l'eau, des produits très-solides. Le grès de Fontainebleau fournit, dans les mêmes conditions, une pierre plus dure encore. Le plâtre, au contraire, donne de mauvais résultats.

La dolomie calcinée à 300 ou 400 degrés fait prise sous l'eau très-rapidement, et donne une pierre d'une très-grande dureté.

Si la calcination a été plus vive, de manière à produire un peu de chaux, cette chaux, en faible proportion, n'empêche pas la prise de la matière; mais elle se sépare dans la masse en petites veinules blanches.

Si l'on a chauffé jusqu'au rouge, de manière à décomposer tout le carbonate de chaux, le produit se délite immédiatement dans l'eau comme une chaux maigre.

En Angleterre, la compagnie de Dinorben exploite des calcaires magnésiens près d'Ambuch (Anglesea), à Port-Cynfor, et à Hell'smouth-Bay pour en faire des ciments, des chaux hydrauliques et des stucs.

L'analyse de ces calcaires a donné les résultats suivants :

	Pierre à ciment hydraulique de Carigcract.	Pierre à chaux hydraulique de Port-Cynfor.	Pierre à stuc d'Hell'smouth.
Carbonate de magnésie. . .	61,15	55,23	15,86
Carbonate de chaux.	21,41	33,99	72,23
Carbonate de fer.	8,76	3,85	3,21
Silice.	5,58	5,58	2,70
Alumine..	2,07	2,21	
Matières organiques et eau.	1,10	3,40	6,00
	100,07	100,00	100,00

Ces chiffres démontrent que le degré d'hydraulicité de chacun de ces calcaires magnésiens est en rapport avec la quantité de carbonate de magnésie qu'il contient.

Les propriétés hydrauliques du ciment de Carigcract, de la chaux de Port-Cynfor, sont tout à fait comparables à celles du *ciment Portland* et de la chaux obtenue avec le *blue lias lime stone*, qui sont les meilleurs produits hydrauliques de l'Angleterre.

La calcination doit être conduite avec grand soin ; la température doit s'élever graduellement au rouge et ne pas dépasser ce point, sans quoi les propriétés hydrauliques sont plus ou moins détruites. Il est bon de pulvériser la matière aussitôt après la calcination.

Les propriétés hydrauliques du ciment de Carigcract ne peuvent

s'expliquer par la présence de la silice et de l'alumine, qui y sont en trop faibles proportions; mais ces substances doivent néanmoins jouer un certain rôle; elles absorberont la chaux qu'une calcination trop forte aurait produite, et formeront avec elle une matière analogue aux ciments ordinaires. Les bonnes qualités du ciment de Carigcract sont donc dues à la fois à la magnésie et aux matières pouvant composer un ciment ordinaire qu'il renferme.

---

§ IV. — REPRODUCTION DES MINÉRAUX.

---

48. *Nouveau mode de production, à l'état cristallisé, d'un certain nombre d'espèces chimiques et minéralogiques;*

Par MM. H. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE et CARON.

(*Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. V, p. 104.)

La méthode employée par les auteurs est la suivante :

On fait réagir les fluorures métalliques purs ou mélangés sur l'acide borique à une température suffisante pour maintenir cet acide à l'état de vapeur.

Il se produit du fluorure de bore qui se volatilise et un oxyde qui cristallise.

L'acide borique est placé dans un petit creuset renfermé lui-même dans un grand creuset; l'intervalle des deux vases contient le fluorure.

Le grand creuset est un creuset de terre brasqué avec de l'alumine calcinée ou un creuset de charbon de cornue, placé lui-même dans un creuset de terre pour le protéger. Dans le premier cas, le petit creuset est en platine; dans le second, il est également en charbon de cornue.

Quand on porte ces appareils à une haute température, le fluorure et l'acide borique se volatilisent; leurs vapeurs réagissent, et les cristaux obtenus se déposent sur les bords du petit creuset.

I. — Corindon.

Corindon blanc. — On emploie l'acide borique et le fluorure d'aluminium; on opère dans des vases en charbon.

Le corindon obtenu est à l'état de grandes lames rhomboïdales, ou en rhomboèdres basés ; il est aussi dur que le corindon naturel ; il ne renferme pas trace de fluor ni d'acide borique.

Rubis. — On ajoute au fluorure d'aluminium une petite quantité de fluorure de chrôme, et l'on opère dans les vases en alumine et en platine.

La teinte des rubis obtenus est absolument la même que celle des rubis naturels.

Saphir. — Si l'on ajoute une quantité plus petite de fluorure de chrôme, on obtient, en opérant de même, des saphirs d'un très-beau bleu.

Corindon vert. — Si l'on ajoute une grande proportion de fluorure de chrôme, on obtient des corindons d'un très-beau vert, analogues à l'ouvarowite.

II. — Fer oxydulé.

On emploie le sesquifluorure de fer obtenu en traitant le sesquioxyde de fer par l'acide fluorhydrique et en desséchant fortement la masse ; on opère dans des vases en alumine et platine.

L'oxydule de fer est obtenu en beaux cristaux octaédriques, disposés le plus souvent en chapelets.

On peut expliquer sa formation en admettant que le sesquioxyde qui résulte de l'action de l'acide borique sur le sesquifluorure de fer, se décompose à haute température et donne de l'oxydule.

III. — Zircone.

On emploie le fluorure de zirconium préparé en faisant passer de l'acide fluorhydrique sur de la zircone chauffée au rouge. On opère dans des vases en charbon.

La zircone s'obtient en petits cristaux jaunâtres, groupés en arborescences.

Elle est absolument insoluble dans les acides, même dans l'acide sulfurique bouillant. La potasse fondue ne l'attaque pas. Le bisulfate de potasse seul la dissout. Elle ne contient pas trace de fluor.

IV. — Spinelles.

On n'a pu produire l'aluminate de magnésie ; le fluorure de magnésium est fixe à la température de l'expérience. En opérant sur le mélange de fluorure d'aluminium et de fluorure de magnésium, on n'obtient que du corindon.

Gahnite. — On obtient de très-beaux cristaux octaédriques de

gahnite en opérant sur le mélange de fluorures de zinc et de magnésium ; on se sert de vases en alumine et platine.

Cymophane. — On opère sur le mélange à équivalents égaux de fluorure d'aluminium et de fluorure de glucyum, dans des vases en charbon.

Il se produit des cristaux de cymophane pentagonaux ayant la forme, la dureté et la composition de la cymophane naturelle. Ils sont transparents et incolores. Quelques cristaux sont hexagonaux.

Si l'on remplace l'acide borique par de l'acide silicique, on obtient un mélange de silicate d'alumine et de cymophane. On n'a pu obtenir l'émeraude.

V. — Silicates.

Silicate d'alumine. — Si l'on opère sur le fluorure d'aluminium et la silice, dans des creusets de charbon, on obtient des silicates d'alumine qui forment des arborescences de plusieurs centimètres de hauteur.

Mais si l'on fait agir au contraire dans un tube le fluorure de silicium sur de l'alumine, on obtient des petits cristaux réguliers de silicate d'alumine, et du fluorure d'aluminium qui se volatilise. Ces cristaux paraissent avoir la forme de l'andalousite ; leur composition est représentée par la formule



$$2Al^2O^3.SiO^3.$$

Si l'on fait agir le fluorure de silicium dans un tube sur une masse formée de tranches successives d'alumine et de silice, les deux réactions inverses du fluorure de silicium sur l'alumine et du fluorure d'aluminium sur la silice se produisent simultanément, et l'on n'obtient qu'un seul et même produit, du silicate d'alumine.

Zircon. — De même, si l'on traite à haute température la zircone par le fluorure de silicium, ou la silice par le fluorure de zirconium, on obtient des zircons cristallisés en octaèdres très-réguliers, et tout à fait semblables aux zircons du Vésuve. Ils sont très-transparents et possèdent un éclat remarquable.

49. *Sur la reproduction des minéraux du titane;*

Par M. P. Hautefeuille.

(*Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. IV, p. 129.)

I. — Rutile.

Ebelmen a préparé le rutile aciculaire en fondant au four à porcelaine un mélange d'acide titanique et de sel de phosphore. De Sénarmont a reproduit la même espèce minérale en utilisant la propriété dissolvante de l'eau chargée d'acide carbonique pour l'acide titanique. MM. Deville et Caron ont préparé du rutile en décomposant au rouge le titanate de protoxyde d'étain par la silice. M. Deville a obtenu des cristaux d'acide titanique en faisant passer sur cet oxyde amorphe et fortement chauffé un courant d'acide chlorhydrique.

L'auteur a obtenu l'acide titanique en cristaux mesurables en décomposant au rouge vif par l'acide chlorhydrique gazeux mélangé d'air du titanate de potasse mêlé de chlorure de potassium. Ces cristaux ont une forme et une densité identiques à celles du rutile. Il a reproduit tous les minéraux suivants.

Rutile aciculaire. — Dans un tube de terre réfractaire porté à la plus haute température possible, on fait arriver un courant d'acide chlorhydrique chargé de vapeurs de chlorure de titane, et un courant d'air saturé d'humidité. Le chlorure de titane est décomposé par l'eau, et le rutile cristallise en cristaux mesurables dans la partie du tube chauffée au rouge vif.

Dans un creuset de terre rempli à moitié de magnésie fortement calcinée, et sur laquelle on pose une capsule de platine, on fond un mélange de 1 d'acide titanique et de 6 de fluorure de potassium ou de 1 d'acide titanique pour 8 de spath fluor. Lorsque le mélange est fondu, on fait arriver par un tube de porcelaine traversant le couvercle du creuset, un courant d'acide chlorhydrique qui réagit sur le bain liquide, et produit de l'acide fluorhydrique, du fluorure titanifère, du chlorure de potassium ou de calcium, de l'eau et de l'acide titanique qui cristallise en longs prismes au milieu de la masse que l'on peut enlever en la dissolvant par l'acide chlorhydrique. Les cristaux sont d'un beau jaune doré lorsque l'on emploie le fluorure de potassium, et d'un jaune pâle, avec le spath fluor; ils ressemblent beaucoup au rutile aciculaire du Saint-Gothard. Si l'on remplace la capsule de platine par un

creuset de charbon, ils sont bleus comme le rutile de Madagascar; dans ce dernier cas, ils renferment un peu de fluor.

Rutile laminaire. — L'acide titanique en dissolution dans le fluosilicate de potasse cristallise au rouge vif en présence de l'acide chlorhydrique, et produit le rutile laminaire tel qu'on le rencontre à New-Jersey.

Sagénite. — Si on remplace le fluosilicate de potasse par un mélange de chlorure de calcium et de silice, on obtient du sphène et du rutile qui est aciculaire si l'acide titanique est en grand excès, et laminaire ou sagénite, si l'excès est faible.

Le mélange suivant :

Acide titanique	2
Silice	10
Fluosilicate de potasse	25

chauffé au rouge vif dans un courant d'acide chlorhydrique donne naissance à des aiguilles implantées sur une masse de silice, semblables à la sagénite de Saussure. La densité de ces cristaux est de 4,1 à 4,2. Ils se colorent en jaune verdâtre quand on les chauffe à une température voisine du rouge; ils se décolorent par le refroidissement.

II. — Brookite.

Brookite de l'Oural. — Si l'on fait passer sur du fluotitanate de potasse au rouge un courant d'acide chlorhydrique, il se produit du fluorure de titane, de l'acide fluorhydrique et du chlorure de potassium :



$$KFl \cdot TiFl^2 + nHCl = TiFl^2 + HFl + KCl + (n-1)HCl.$$

Le chlorure de potassium ne retenant pas le fluorure de titane, ce dernier est entraîné avec l'acide fluorhydrique et l'acide chlorhydrique en excès; si l'on fait passer ce mélange dans un tube de platine chauffé à une température comprise entre celle de la volatilisation du cadmium et celle de la volatilisation du zinc, en présence d'un courant d'hydrogène saturé de vapeur d'eau, le fluorure de titane est décomposé par l'eau, et il se produit de l'acide titanique qui cristallise en cristaux volumineux, d'un bleu d'acier par réflexion, et d'un bleu lavande par transparence. Ces cristaux sont des prismes rhombiques, et ressemblent à ceux de la brookite de Miask (Oural). Leur densité est de 4,1.

Si l'on fait passer dans un tube chauffé comme précédemment

un mélange de chlorure de titane, d'acide fluorhydrique et de vapeur d'eau, en obtient encore le même produit, mais en cristaux plus petits.

Au fond d'un tube vertical en terre, on place une capsule de platine contenant un mélange fondu et pulvérisé de spath fluor et d'acide titanique additionné de chlorure de potassium. On chauffe ce tube de manière que sa partie inférieure soit au rouge vif et sa partie moyenne au-dessous de la température de la volatilisation du zinc. A la partie inférieure, on fait arriver un courant d'acide chlorhydrique, et au-dessus un courant d'hydrogène humide. L'acide chlorhydrique met peu à peu du fluorure de titane en liberté ; ce fluorure est réduit par la vapeur d'eau ; le tube se tapisse de cristaux d'acide titanique; vers le bas du tube, on trouve du rutile en petite quantité ; dans la partie moyenne il n'y a que de la brookite avec un enduit pulvérulent formé de silice et d'oxyde de titane.

Arkansite. — On obtient des cristaux noirs identiques à ceux de l'arkansite en décomposant au rouge sombre par l'acide chlorhydrique un mélange d'acide titanique, de silice et de fluosilicate de potasse fondu dans un creuset de charbon de cornue. Ces cristaux contiennent un peu de fluor et d'oxyde bleu de titane.

Brookite lamelliforme. — En traitant par l'acide chlorhydrique au rouge sombre le mélange fondu suivant :

Acide titanique	1
Silice	5
Fluosilicate de potasse	12

on obtient une masse siliceuse contenant des cristaux d'acide titanique, parmi lesquels on trouve des lames légèrement verdâtres et ayant la densité de la brookite; ces lames ressemblent beaucoup à celles qu'on rencontre au Saint-Gothard et dans les roches de l'Oisans.

III. — Anatase.

Si l'on répète la première préparation indiquée pour la brookite, en ayant soin de ne pas dépasser la température de volatilisation du cadmium, l'acide titanique produit cristallise en beaux octaèdres bleus, dont la densité varie de 3,7 à 3,9, et qui sont identiques à l'anatase naturel.

En remplaçant le courant d'hydrogène par un courant d'air saturé de vapeur d'eau, on obtient l'anatase incolore identique à celui du Brésil.

IV. — Sphène.

On place dans un grand creuset de platine un mélange de 3 parties de silice et de 4 parties d'acide titanique ; on achève de remplir le creuset avec du chlorure de calcium, et on chauffe à une haute température. En reprenant la masse par l'eau et l'acide chlorhydrique, on obtient des cristaux identiques comme forme, composition et densité à ceux du sphène naturel.

Ces cristaux sont d'autant plus volumineux que la silice et l'acide titanique employés sont plus réfractaires aux réactions chimiques, et par suite, que la durée de l'opération est plus grande.

En remplaçant l'acide titanique par du rutile concassé, on retrouve des fragments de ce minéral sur lesquels sont implantés des cristaux de sphène ; c'est là le sphène parasite du rutile du Saint-Gothard. D'autres cristaux volumineux de sphène retiennent un petit fragment de rutile.

Pour expliquer la réaction, on peut admettre que le chlorure de calcium décompose lentement l'acide titanique, en donnant de la chaux et du chlorure de titane ; qu'une partie de cette chaux se combine avec la silice, et produit un silicate qui réagit sur le chlorure de titane en présence de la chaux, pour former du sphène et reproduire du chlorure de calcium :



$$CaO . SiO^3 + 2CaO + TiCl^2 = SiO^3 . TiO^2 . CaO + 2CaCl.$$

L'analyse des cristaux de sphène ainsi obtenus a montré qu'ils sont composés de silice, d'acide titanique et de chaux combinés à équivalents égaux. Voici la méthode employée pour cette analyse.

On attaque le sphène finement pulvérisé par le bisulfate d'ammoniaque en fusion pendant plusieurs heures. On reprend par l'eau. La silice reste insoluble ; on la lave et la pèse avec les précautions ordinaires. La dissolution sulfurique d'acide titanique et de chaux est traitée par l'ammoniaque ; il se produit un précipité d'acide titanique entraînant un peu de chaux. Le reste de la chaux est dosé dans la liqueur.

On pèse le mélange obtenu d'acide titanique et de chaux ; on y ajoute cinq à six fois son poids de carbonate de chaux, et on chauffe le mélange au rouge, pendant six ou huit heures, en présence d'un courant très-lent d'acide chlorhydrique sec. Au bout de ce temps, tout l'acide titanique est cristallisé ; on le lave à l'eau chaude et on le pèse. Par différence, on obtient le poids de la chaux mélangée ; on ajoute ce poids à celui obtenu précédemment.

On a obtenu le sphène rose ou greenovite, en ajoutant au mélange qui produit le sphène ordinaire un peu de chlorure de manganèse.

L'analyse de ce produit a donné les résultats suivants :

Silice	31,9
Acide titanique	38,5
Chaux	20,7
Protoxyde de manganèse	8,9

La séparation de la silice se fait comme précédemment. La liqueur sulfurique d'acide titanique, chaux et manganèse, est traitée par l'acide sulfureux à l'ébullition : l'acide titanique se précipite seul. On sépare ensuite la chaux du manganèse.

Il a été impossible, en remplaçant le chlorure de calcium par des chlorures de baryum, de magnésium, de manganèse, de potassium, d'obtenir des sphènes où la chaux fût remplacée complétement par la baryte, la magnésie, l'oxyde de manganèse ou la potasse.

V. — Pérowskite.

Si lors de la fusion du mélange de silice, acide titanique et chlorure de calcium, on fait arriver dans le creuset un courant d'acide carbonique saturé d'humidité, on obtient, après avoir repris la masse par l'eau, l'acide chlorhydrique et la potasse en dissolution, des cristaux exempts de silice, composés d'acide titanique et de chaux, et ayant la composition de la pérowskite. On peut admettre que le sphène se produit, et qu'il est ensuite décomposé par la vapeur d'eau. Si on remplace l'acide carbonique par de l'air chargé de vapeurs d'acide chlorhydrique et d'eau, les cristaux obtenus sont plus volumineux. Ce sont des tables ou des cubes transparents, d'un jaune ambré, et d'un éclat gras. Leur densité est égale à 4.

Pour faire l'analyse de ces cristaux, il suffit de les pulvériser finement, de les mélanger avec cinq ou six fois leur poids de carbonate de chaux, et de traiter le mélange par l'acide chlorhydrique au rouge, comme il a été dit plus haut. On pèse l'acide titanique cristallisé, et on a la chaux par différence.

On peut aussi faire l'attaque au bisulfate, reprendre par l'eau, et faire la séparation de l'acide titanique et de la chaux, soit par l'ammoniaque, soit par l'acide sulfureux.

L'auteur a formé les produits suivants qu'on ne connaît pas dans la nature :

1° Le *titanate de magnésie*, $MgO.TiO^2$, en fondant de l'acide titanique avec du chlorhydrate d'ammoniaque et du chlorure de magnésium ;

2° Le *titanate bibasique de magnésie*, $2MgO.TiO^2$, en portant au rouge vif le mélange suivant :

Acide titanique	2
Magnésie	1
Chlorure de magnésium	10

3° Le *titanate bibasique de protoxyde de fer*, $2FeO.TiO^2$, en chauffant le mélange :

Acide titanique	2
Protofluorure de fer	5
Chlorure de sodium en grand excès	

4° Enfin le *titanate bibasique de manganèse*, $MnO.TiO^2$, par la réaction de l'acide titanique sur le fluorure de manganèse.

Tous ces produits sont cristallisés.

---

50. *Reproduction de la blende hexagonale et de la greenockite*;

Par MM. H. Sainte-Claire Deville et Troost.

(*Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. V, p. 118.)

Si l'on fait passer un courant lent d'hydrogène pur et sec sur de la blende naturelle dans un tube chauffé au rouge, il n'y a ni absorption de gaz, ni production d'hydrogène sulfuré; cependant la blende a été comme volatilisée, transportée dans une région moins chaude du tube où elle a cristallisé en prismes hexagonaux ou en tables rhomboédriques, transparents et incolores ou légèrement jaunâtres, et identiques avec la blende hexagonale naturelle. Le sulfure de zinc a été réduit au rouge vif par l'hydrogène; il s'est formé de l'hydrogène sulfuré et du zinc métallique qui s'est volatilisé et porté sur les parois moins chaudes du tube; mais là, l'hydrogène n'étant pas en excès, l'hydrogène sulfuré a été décomposé, et il s'est reformé du sulfure de zinc et de l'hydrogène. Un fait analogue se produit quand on chauffe de l'oxyde de zinc dans un courant lent d'hydrogène.

En fondant ensemble parties égales de sulfate de zinc, de fluo-

rure de calcium et de sulfure de baryum, on obtient des cristaux de sulfure de zinc, présentant la forme d'un double prisme hexagonal. En faisant passer de l'acide sulfureux sur du zinc chauffé au rouge, ce métal brûle, et il se produit un mélange d'oxyde de zinc cristallisé en rhomboèdres et de blende hexagonale.

On reproduit la greenockite ou sulfure de cadmium en très-beaux cristaux identiques à ceux de la nature, en faisant passer au rouge sur du sulfure de cadmium artificiel un courant lent d'hydrogène pur et sec. Il y a, comme pour la blende et l'oxyde de zinc, volatilisation apparente des produits et formation de prismes hexagonaux et de plaques rhomboïdales.

---

51. *Sur la production artificielle du fer chrômé*;

Par M. J. Clouet.

(*Comptes rendus*, t. LXVII, p. 763)

L'analyse d'un grand nombre d'échantillons de fer chrômé, conduit à les regarder comme répondant aux formules suivantes :

$Cr^2O^3 . FeO$	Russie (gouvernement d'Orenbourg), Smyrne, Norwége (Drontheim), Styrie.
$Cr^2O^3 . 2FeO$	Ile à Vaches, Amérique, Norwége (Christiania), Hongrie France (Var).
$3Cr^2O^3 . 2FeO$	Russie (gouvernement de Viatka).
$5Cr^2O^3 . 4FeO$	Alt Orsowa (Banat).
$5Cr^2O^3 . 8FeO$	Indes, îles Schetland, Californie.
$2Cr^2O^3 . 3FeO$	Australie.

Il est facile de reproduire artificiellement ces minéraux; pour cela, on prend une solution concentrée de sulfate de protoxyde de fer, et une de sesquichlorure de chrôme, toutes deux pures, et telles que le protoxyde de fer et le sesquioxyde de chôme qu'elles renferment soient dans le rapport de la combinaison que l'on veut produire. On verse dans le mélange des deux solutions de l'ammoniaque en léger excès, on filtre rapidement pour éviter le contact de l'air, et on calcine le précipité au rouge blanc dans un creuset de platine avec un peu de carbonate d'ammoniaque et du borax. Le chromite de fer apparaît alors avec tous les caractères physi-

ques et chimiques du fer chrômé correspondant qui existe à l'état natif : la densité, l'insolubilité dans les acides forts et bouillants, la couleur et l'éclat métallique.

En calcinant avec du borax le chromite correspondant au fer chrômé de l'Ile à Vaches, on peut l'obtenir cristallisé en octaèdres comme le minerai provenant de cette localité.

MÉMOIRE SUR LES VOLANTS DES MACHINES A VAPEUR

A DÉTENTE ET A CONDENSATION.

Par M. H. RÉSAL.

. — De l'établissement d'un volant.

Le travail des forces agissant sur une machine à vapeur, n'étant pas régulier, par suite de l'emploi des pièces à mouvement alternatif, la vitesse angulaire de l'arbre moteur éprouve des variations que l'on restreint dans certaines limites en montant sur l'arbre une sorte de roue que l'on appelle *volant.*

Pour ne pas donner à un volant (d'un moment d'inertie déterminé) un poids trop considérable, on dispose les éléments de sa masse à la plus grande distance possible de l'axe de rotation. C'est pour ce motif que l'on donne à la pièce la forme d'une couronne circulaire, reliée à l'arbre par des bras.

Soient ω_1, ω_2, les vitesses angulaires minimum et maximum de l'arbre,

$\Omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$, sa vitesse angulaire moyenne,

$1/n$, une fraction donnée, qui sera d'autant plus petite que l'on voudra obtenir une plus grande régularité dans le mouvement.

La condition qui devra être remplie est la suivante :

$$\omega_2 - \omega_1 \leqq \frac{\Omega}{n},$$

d'où, en prenant le signe inférieur

$$(a) \qquad \omega_2 = \Omega\left(1 + \frac{1}{2n}\right) \qquad \omega_1 = \Omega\left(1 - \frac{1}{2n}\right),$$

$$\omega_2 - \omega^0 = \frac{\Omega}{n}.$$

Si ω est la vitesse angulaire de l'arbre correspondan à l'angle θ décrit par la manivelle à partir d'un point mort, du point mort extérieur pour fixer les idées, la force vive des pièces de la machine, animées d'un mouvement de rotation, sera de la forme $a\omega^2$, a étant une quantité connue; celle du volant sera $b\omega^2$, b étant le moment d'inertie inconnu de cette pièce; on peut considérer $A = a + b$ comme étant l'inconnue de la question; la forme vive de toutes les masses tournantes sera $A\omega^2$.

En négligeant l'obliquité de la bielle, la force vive des pièces à mouvement alternatif sera de la forme $k\omega^2 \sin^2\theta$, k étant le produit de la somme des masses du piston et de la bielle par le quarré du rayon de la manivelle, augmenté, dans le cas des machines de Watt, du moment d'inertie du balancier multiplié par le quarré du rapport de la manivelle à la demi-longueur du balancier.

Soient :

R le rayon de la manivelle;

p la pression totale exercée sur le piston;

Q la force tangente à la circonférence décrite par le bouton de la manivelle équivalente à la résistance utile, et que nous supposerons constante;

ω_0 la vitesse angulaire lorsque $\theta = 0$;

α la valeur de θ correspondant au commencement de la détente;

$\Delta = \frac{1 - \cos\alpha}{2}$ l'admission.

Poncelet fait remarquer (Cours lithographié de l'École d'application du génie et de l'artillerie, 2e section, n° 78) que les résistances passives ont pour effet, en général, de diminuer les plus grands écarts de la vitesse, ou la valeur qu'il serait nécessaire de donner au moment d'inertie du volant, si elles n'existaient pas. En d'autres termes, elles tendent à régulariser le mouvement en remplissant ainsi les fonctions de frein, et par conséquent en les négligeant comme nous le ferons, nous serons certain d'obtenir pour le volant des dimensions plus que suffisantes.

Par la même raison, nous négligerons la contre-pression dans la machine à condensation. Cette hypothèse est moins admissible pour les machines à échappement libre; d'autre part, en tenant compte de la contre-pression lorsqu'il y a détente, on complique considérablement les formules, qui ne permettent pas d'arriver à un résultat général, et chaque cas particulier exigerait un calcul spécial, passablement compliqué pour déterminer le mouvement d'inertie du volant. Ce que l'on a de mieux à faire dans ces circonstances est de choisir le plus grand des moments d'inertie obtenus : 1° en tenant compte de la détente et faisant abstraction de la contre-pression; 2° en supposant qu'il n'y ait pas de détente et tenant compte de la contre-pression, ce qui revient à considérer le piston comme soumis à l'action d'une force unique égale à la différence des pressions totales sur ses deux faces.

Ainsi, dans tous les cas, on peut regarder la contre-pression comme nulle.

Nous supposerons, pour plus de simplicité, que la vapeur se détend en suivant la loi de Mariotte, quoique cette hypothèse cesse d'être admissible pour les grandes détentes, la pression diminuant plus rapidement que suivant cette loi; mais comme dans ce dernier cas, l'hypothèse que nous faisons est avantageuse à la régularité du mouvement, il n'y a aucun inconvénient à se placer dans ces conditions.

Nous avons, d'après ce principe, les forces vives

$$\frac{(A + k \sin^2 \theta)\, \omega^2 - A\omega_0^2}{2} = pR\,(1 - \cos\theta) - QR\theta \text{ pour } \theta \leqq \alpha,$$

$$\frac{(A + k \sin^2 \theta)\, \omega^2 - A\omega_0^2}{2} = pR\,(1 - \cos\alpha) +$$

$$+ (1 - \cos\alpha)\, pR \log \text{nep} \frac{1 - \cos\theta}{1 - \cos\alpha} - QR\theta.$$

Pour que le mouvement soit périodiquement uniforme, il faut que l'on ait $\omega = \omega_0$ pour $\theta = 2\pi$, ou que le travail total pour une révolution soit nul, ou encore que le double du second membre de la seconde des équations précédentes soit égal à zéro, ce qui donne

$$p = \frac{\pi Q}{(1 - \cos\alpha)\left(1 + \log \text{nep} \dfrac{2}{1 - \cos\alpha}\right)},$$

On voit aussi que $\omega = \omega_0$ pour $\theta = \pi$, et que l'on est ramené à étudier ce qui doit se passer entre $\theta = 0$ et $\theta = \pi$.

Si l'on pose

$$(1) \quad \left\{ \begin{aligned} u &= \frac{1 - \cos\theta}{2(1 - \cos\alpha)\left(1 + \log \text{nep} \dfrac{2}{1 - \cos\alpha}\right)} - \frac{\theta}{2\pi}, \\ u' &= \frac{(1 - \cos\alpha)\left(1 + \log \dfrac{1 - \cos\theta}{1 - \cos\alpha}\right)}{2(2 - \cos\alpha)\left(1 + \log \text{nep} \dfrac{2}{1 - \cos\alpha}\right)} - \frac{\theta}{2\pi}, \end{aligned} \right.$$

on a, en mettant en évidence le travail $2\pi QR$, développé par tour de manivelle,

$$(2) \quad \frac{(A + K \sin^2 \theta)\, \omega^2 - A\omega_0^2}{2} = 2\pi QRu \qquad \text{pour } \theta \leqq \alpha,$$

$$(2') \quad \frac{(A + K \sin^2 \theta)\, \omega^2 - A\omega_0^2}{2} = 2\pi QKu' \qquad \theta \begin{smallmatrix} > \alpha \\ < \pi \end{smallmatrix}.$$

Nous avons

$$\frac{du}{d\theta} = \frac{\sin\theta}{2(1-\cos\alpha)\left(1+\log\text{nep}\,\frac{2}{1-\cos\alpha}\right)} - \frac{1}{2\pi}.$$

Comme on a $\frac{du}{d\theta} < 0$ pour $\theta = 0$, la plus petite valeur de θ, qui satisfait à l'équation

$$\frac{du}{d\theta} = 0,$$

correspondra à un minimum de u et $\Phi = u - \varphi$ à un maximum, et l'on a

$$(3) \qquad \sin\varphi = \frac{1}{\pi}(1-\cos\alpha)\left(1+\log\text{nep}\,\frac{2}{1-\cos\alpha}\right).$$

On obtient ainsi :

$$(4) \quad \begin{cases} u = \dfrac{1-\cos\theta}{2\pi\sin\varphi} - \dfrac{\theta}{2\pi}, \\ u' = \dfrac{(1-\cos\alpha)}{2\pi\sin\varphi}\left(1+\log\text{nep}\,\dfrac{1-\cos\theta}{1-\cos\alpha}\right) - \dfrac{\theta}{2\pi}, \end{cases}$$

et

$$(4') \quad \begin{cases} u_\varphi = \dfrac{1-\cos\varphi}{2\pi\sin\varphi} - \dfrac{\varphi}{2\pi}, \\ u_\Phi = \dfrac{1+\cos\varphi}{2\pi\sin\varphi} - \dfrac{1}{2} + \dfrac{\varphi}{2\pi}. \end{cases}$$

La fonction u' n'est susceptible que d'un maximum correspondant à la valeur Φ' de θ donnée par

$$(4'') \qquad \tan\!\mathrm{g}\,\frac{\Phi'}{2} = \frac{1-\cos\alpha}{\sin\varphi},$$

et le maximum est

$$(4''') \qquad u'_{\Phi'} = \frac{1-\cos\alpha}{2\pi\sin\varphi}\left(1+2\log\text{nep}\,\frac{\sin\frac{\Phi'}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}\right) - \frac{\Phi'}{2\pi}.$$

Soient F la force de la machine exprimée en chevaux, N le nombre de tours de manivelle par minute ; on a

$$F = 2\pi RQ \frac{N}{60 \times 75},$$

et les équations (2) et (2′) deviennent ainsi :

$$(5) \quad \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{(A + k \sin^2 \theta)\ \omega^2 - A\omega_0^2}{2} = \dfrac{4500\ F}{N} u, \\ \dfrac{(A + k \sin^2 \theta)\ \omega^2 - A\omega_0^2}{2} = \dfrac{4500\ F}{N} u'. \end{array} \right.$$

Maximum et minimum du travail des forces dans un demi-tour de manivelle. — Soient τ et T les rapports à $2\pi RQ$ de la plus petite et de la plus grande valeur du travail développé lorsque la manivelle exécute une demi-révolution à partir d'un point mort, le point mort extérieur si l'on veut, comme nous l'avons supposé jusqu'ici pour fixer les idées.

Nous reconnaîtrons que $\tau = u_\varphi$ et que T est u_Φ ou $u'_{\Phi'}$, selon que $\Phi \lessgtr \alpha$.

Le tableau suivant donne les valeurs de τ et T pour des valeurs croissantes de α à partir de 10 degrés, de 10 en 10 degrés jusqu'à 180 degrés, en indiquant les fonctions qui leur correspondent ;

(A)

α	φ	$\frac{\Phi'}{2}$	$-\tau = -u_\varphi$	T		$T-\tau$	Δ
				$u'_{\Phi'}$	u_Φ		
10°	1° 37′ 50″	28° 7′ 20″	0,0023	0,2166		0,2189	0,0075
20	4 57 20	34 55 10	0,0069	0,1821		0,1890	0,030
30	9 5 10	40 19 10	0,0126	0,1580		0,1712	0,067
40	13 33 05	44 57 50	0,0188	0,1398		0,1586	0,117
50	18 33 5	49 04 00	0,0247	0,1240		0,1487	0,178
60	22 19 40	52 46 20	0,0306	0,1112		0,1416	0,250
70	26 14 40	56 6 50	0,0358	0,1001		0,1359	0,329
80	29 42 10	59 3 00	0,0403	0,0905		0,1308	0,413
90	32 35 40	61 41 20	0,0440	0,0813		0,1253	0,500
100	34 56 00	63 59 40	0,0470	0,0750		0,1220	0,587
110	36 41 30	66 00 00	0,0491	0,0687		0,1178	0,671
120	37 56 15	67 40 00	0,0506	0,0635		0,1141	0,750
130	38 55 00	69 29 00	0,0519	0,0571		0,1190	0,822
140	39 11 50	70 18 30	0,0522	0,0546	(0,0558)	0,1068	0,883
150	39 26 30		0,0524		0,0534	0,1058	0,993
160	39 31 00		0,0525		0,0527	0,1052	0,970
170	39 32 00		0,0526		0,0527	0,1053	0,992
180	39 32 20		0,0527		0,0527	0,1054	1,000

Par la méthode des différences, on déduit de ce tableau le suivant :

(B)

1,0	$T-\tau = 0,1054$
0,9	0,1066
0,8	0,1106
0,7	0,1164
0,6	0,1213
0,5	0,1253
0,4	0,1321
0,3	0,1381
0,2	0,1464
0,1	0,1629
0,05	0,1794

Première approximation du calcul des volants. — Excepté peut-être dans quelques machines à balancier, k est toujours une petite fraction du moment A qu'il s'agit de calculer, de sorte que, au moins dans une première ap-

proximation, on peut négliger les termes en k dans les formules (2) et (2'); mais alors on voit que ω_1 et ω_2 correspondent respectivement à τ et T, ce qui donne :

$$A\frac{(\omega_1^2-\omega_0^2)}{2}=\frac{4.500\ F}{N}\tau.$$

(6) $$A\frac{(\omega_2^2-\omega_0^2)}{2}=\frac{4.500\ F}{N}T,$$

d'où, en éliminant ω_0

$$A(\omega_2-\omega_1)\frac{(\omega_2+\omega_1)}{2}=\frac{4500\ F}{N}(T-\tau),$$

et en vertu des relations (a)

(7) $$A=\frac{4500}{N\Omega^2}Fn(T-\tau)$$

On prendra pour $T-\tau$ la plus grande des valeurs données par le tableau (B) entre les limites de la détente que l'on veut utiliser.

Formules pratiques. — Comme la régularité du mouvement va en augmentant avec le moment d'inertie du volant, on voit que l'on peut considérer sans inconvénient A comme étant le moment d'inertie de l'anneau, en faisant ainsi abstraction des bras et des pièces tournantes. Les dimensions transversales de l'anneau étant toujours petites par rapport à son rayon moyen ρ_0, en appelant P son poids, on peut approximativement poser $A=\frac{P}{g}\rho_0^2$; si l'on représente par V la vitesse moyenne à la circonférence, la formule (7) prend la forme

(8) $$PV^2=\mu.\frac{nF}{N},$$

en posant

(9) $$\mu=g.4.500\ (T-\tau)=44.136\ (T-\tau).$$

D'après le tableau (B), on a

Pour $\Delta = 1,0$	$\mu = 4.650$
0,9	4.705
0,8	4.881
0,7	5.137
0,6	5.354
0,5	5.530
0,4	5.830
0,3	6.095
0,2	6.462
0,1	7.190
0,5	7.918

Nous verrons plus loin comment connaissant P, on doit calculer les dimensions transversales de l'anneau.

Deuxième approximation. — Proposons-nous maintenant de calculer le moment d'inertie du volant en tenant compte de la première puissance de k.

Supposons que l'on ait obtenu une première valeur de A pour la formule (7); le moment d'inertie corrigé pourra être représenté par $A(1+x)$, x devenant l'inconnue de la question ; posons $\gamma = \frac{k}{A}$ et négligeons les termes du second ordre en x et γ. En désignant par U l'une ou l'autre des fonctions u et u', les équations (5) sont comprises dans la suivante :

$$(A) \quad \frac{(1+x+\gamma\sin^2\theta)\,\omega^2 - A(1+x)\,\omega_0^2}{2} = \frac{4.500}{N}\,FU,$$

d'où, en ayant égard à la valeur (6),

$$(10) \quad \frac{\omega^2-\omega_0^2}{2} = \frac{\Omega^2 U}{n(T-\tau)}(1-x-\gamma\sin^2\theta) - \frac{\omega_0^2}{2}\gamma\sin^2\theta.$$

Nous avons vu que T et τ sont respectivement un maxi-

mum ou un minimum de U, ou correspondent à des valeurs de θ, qui satisfont à l'équation

$$\frac{dU}{d\theta} = 0.$$

Pour que ω soit un maximum et un minimum, il faut que la dérivée du second membre de l'équation (10) soit nulle ou que

$$(11) \quad \frac{\Omega^2}{n(T-\tau)}\left(\frac{dU}{d\theta}(1-x-\gamma\sin^2\theta)-U\gamma\sin 2\theta\right)-\frac{\omega_0^2}{2}\gamma\sin 2\theta = 0.$$

Nous désignerons par une double parenthèse les dérivées de U qui se rapportaient à l'hypothèse de $\gamma = 0$, et soit θ une racine admissible de l'équation

$$\left(\frac{dU}{d\theta}\right) = 0$$

sur la détermination de laquelle nous n'avons pas à revenir ; $\theta + \delta\theta$ la racine correspondante de l'équation (10). Il est clair que nous aurons

$$\frac{dU}{d\theta} = \left(\frac{dU}{d\theta}\right) + \left(\frac{d^2U}{d\theta^2}\right)\delta\theta = \frac{d^2U}{d\theta^2}\delta\theta.$$

Et en substituant cette valeur dans l'équation (11) et supprimant maintenant les parenthèses devenues inutiles, on trouve

$$\delta\theta = \left(\frac{\omega_0^2}{2}\frac{\gamma n(T-\tau)}{\Omega^2} + U\gamma\right)\frac{\sin^2\theta}{\frac{d^2U}{d\theta^2}}.$$

Mais la détermination de cette valeur est complétement inutile dans le calcul de x ; en effet, comme U est un maximum pour $\gamma = 0$, il conserve la même valeur aux termes du second ordre près quand on y remplace θ par $\theta + \delta\theta$; d'autre

part, si nous remplaçons dans l'équation (9), ω_0^2 par $\omega_0^2 + \delta\omega_0^2$, la première de ces valeurs étant calculée au moyen de l'une ou l'autre des formules (6), l'équation (11) donne, en se rappelant que $\omega_2 = \Omega\left(1 + \frac{1}{2n}\right)$, $\omega_1 = \Omega\left(1 - \frac{1}{2n}\right)$ sont des données de la question

$$\frac{1}{2}\delta\omega_0^2 = \frac{\Omega^2\tau}{n(T-\tau)}(x + \gamma\sin^2\varphi) + \frac{\omega_0^2}{2}\gamma\sin^2\varphi,$$

$$\frac{1}{2}\delta\omega_0^2 = \frac{\Omega^2 T}{n(T-\tau)}(x + \gamma\sin^2\Phi) + \frac{\omega_0^2}{2}\gamma\sin^2\Phi,$$

Φ étant l'un ou l'autre des angles que nous avons désignés plus haut par Φ et Φ' ; d'où en éliminant $\delta\omega_0^2$,

$$\frac{\Omega^2 x}{n} + \frac{\Omega^2\gamma}{n(T-\tau)}(T\sin^2\Phi - \tau\sin^2\varphi) + \frac{\omega^2\gamma}{2}(\sin^2\Phi - \sin^2\varphi) = 0.$$

Pour calculer ω_0^2, nous ajouterons membre à membre les équations (6), ce qui donne, en ayant égard à la formule (7),

$$\frac{\omega_2^2 + \omega_1^2 - 2\omega_0^2}{2} = \frac{\Omega^2}{n}\cdot\frac{T+\tau}{T-\tau},$$

d'où, en vertu des valeurs (a), et en négligeant le quarré de $1/n$,

$$\omega_0^2 = \Omega^2\left(1 - \frac{1}{n}\cdot\frac{T+\tau}{T-\tau}\right),$$

et enfin

$$x = -\frac{\gamma\Omega^2}{T-\tau}\{T\sin^2\Phi - \tau\sin^2\varphi + [T(n-1) - \tau(n+1)]\}\times$$
$$\times(\sin^2\Phi - \sin^2\varphi).$$

Pour les valeurs de α supérieures à 140° degrés, on a $\sin\Phi = \sin\varphi$, dans les autres cas $\sin\Phi > \sin\varphi$, d'après le tableau (B), par suite $x < o$. L'inertie des pièces à mouve-

ment alternatif n'ayant aucune influence, ou venant en aide à la régularité du mouvement, il est permis d'en faire abstraction et de s'en tenir à notre première approximation.

II. — Des conditions de résistance d'un volant.

La *fig.* 1 représente une section faite dans le volant par son plan moyen perpendiculaire à son axe de rotation o.

La circonférence moyenne de l'anneau à l'état naturel sera pour nous le lieu géométrique des centres de gravité de ces sections. Nous désignerons son rayon par ρ_0.

Nous considérerons d'abord le volant comme animé d'une vitesse sensiblement uniforme Ω.

Soient :

OA_1, OA'_1 les axes de figure de deux bras consécutifs;

2α l'angle qu'ils comprennent;

OA la bissectrice;

A'_1AA_1 la portion de la circonférence moyenne déformée, déterminée par les directions de OA, OA'_1;

ρ le rayon de courbure de la courbe AA_1 en un point M, dont les coordonnées polaires sont $r = OM$, $\widehat{AOM} = \varphi$;

σ la section méridienne de l'anneau;

I le moment d'inertie de cette section par rapport à la perpendiculaire au plan de la figure passant par son centre de gravité;

σ' la section transversale des bras que nous supposerons constante jusqu'au moyeu;

Q, N les composantes élastiques développées dans les sections méridiennes aux naissances a_1, a'_1 du bras, comprises dans l'angle 2α, respectivement parallèle et normale à OA_1, OA'_1;

IH le moment du couple élastique développé dans les mêmes sections;

E le moment d'élasticité et Π le poids spécifique de la matière;

Γ l'effort maximum de compression ou de traction qu'on doit lui faire supporter.

La force centrifuge agissant sur $a_1 A a'_1$, faisant équilibre aux forces élastiques développées en a_1, a'_1, il vient en projetant sur OA, et négligeant pour plus de simplicité les angles $A_1 O a_1$, $A'_1 O a'_1$, relativement très-petits,

$$(1) \quad Q \cos\alpha + N \sin\alpha = \frac{O}{g} \sigma \Omega^2 \rho_0^2 \int_0^\alpha \cos\varphi \, d\varphi = \frac{O}{g} \sigma \Omega^2 \rho_0^2 \sin\alpha.$$

Soient a_2 la naissance du bras OA_1, extérieure à l'angle 2α; F l'effort de traction exercé par un bras sur l'anneau.

Cet effort faisant équilibre aux deux forces sensiblement parallèles $-Q$ appliquées en a_1 et a_2, on a, en négligeant la force centrifuge de la masse comprise entre a_1 et a_2,

$$F = 2Q.$$

Supposons momentanément que OA_1, OA, OA'_1 représentent les axes de trois bras consécutifs; la portion $a_1 A a'_1$ de l'anneau est sollicitée par : 1° deux forces Q parallèles à OA_1, OA'_1, appliquées en a_1, a'_1; 2° la force centrifuge agissant sur $A_1 A'_1$ qui a pour expression $\frac{2O}{g} \sigma \Omega^2 \rho_0^2 \sin 2\alpha$; 3° la force $F = 2Q$ dirigée de A vers O. On a donc en projetant sur OA

$$2Q \cos 2\alpha + 2N \sin 2\alpha + Q = \frac{2\pi}{g} \sigma \Omega^2 \rho_0^2 \sin 2\alpha.$$

Pour que cette équation soit compatible avec l'équation (1), il faut que

$$(1) \qquad Q = 0, \quad N = \frac{Q}{g} \sigma \Omega^2 \rho_0^2, \quad F = 0.$$

Dorénavant nous considérerons, ainsi que nous l'avons fait dès le commencement, OA_1, OA'_1 comme représentant les axes de deux bras consécutifs.

Il est facile maintenant de s'assurer que la tension élastique tangentielle est constante dans toute l'étendue de $A_1A'_1$ et égale à N; car soit N' la valeur de cette composante au point M correspondant à l'angle φ; ψ l'angle formé par un rayon quelconque Om de l'arc Ma_1, avec OA; on a

$$N' = N\cos(\alpha-\varphi) + \frac{\Pi}{g}\sigma\Omega^2\rho_0^2\int_\varphi^\alpha \sin(\psi-\varphi)\,d\psi$$
$$= \frac{\Pi}{g}\sigma\Omega^2\rho_0^2.$$

De sorte que la pièce éprouve une dilatation uniforme ayant pour valeur

$$(2) \qquad \lambda = \frac{\Pi}{g}\frac{\Omega^2\rho_0^2}{E}.$$

En prenant par rapport à M les moments des forces qui agissent sur Ma_1, on a

$$EI\left(\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_0}\right) = N\rho_0[1-\cos(\alpha-\varphi)] -$$
$$-\frac{\Pi}{g}\sigma\Omega^2\rho_0^2\int_\varphi^\alpha \sin(\psi-\varphi)\,d\psi + IH$$
$$= N\rho_0[1-\cos(\alpha-\varphi)] - \frac{\Pi}{g}\sigma\Omega^2\rho_0^2[1-\cos(\alpha-\varphi')] + IH,$$

d'où, en vertu de la seconde des équations (1)

$$(3) \qquad E\left(\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_0}\right) = H$$

Comme la déformation éprouvée par l'anneau est très-petite, nous pourrons, en posant

$$r = \rho_0(1+u),$$

négliger les termes du second ordre nu et ses dérivées. On tire de là

$$\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_0}=-\frac{1}{\rho_0}\left(u+\frac{d^2u}{d\varphi^2}\right)$$

et

$$\frac{d^2u}{d\varphi^2}+u=-\frac{\rho_0 H}{E},$$

équation dont l'intégrale est

$$u=-\frac{\rho_0 H}{E}+M\cos\varphi+M'\sin\varphi,$$

M et M' étant deux constantes arbitraires.

La tangente étant perpendiculaire au rayon vecteur OA, on a, $\frac{du}{d\varphi}=0$, pour $\varphi=0$; d'où $M'=0$ et

(4) $$u=-\frac{\rho_0 H}{E}+M\cos\varphi.$$

L'allongement relatif éprouvé par l'arc AA_1 est

$$\frac{\rho_0\int_0^\alpha(1+u)\,d\varphi-\rho_0\int_0^\alpha d\varphi.}{\rho_0\alpha}=-\frac{1}{\alpha}\int_0^\alpha u\,d\varphi=-\frac{\rho_0 H}{E}+\frac{M\sin\alpha}{\alpha};$$

et comme il doit être égal à λ, il vient

$$H=\frac{ME}{\rho_0}\frac{\sin\alpha}{\alpha}-\frac{\Pi}{g}\Omega^2\rho_0^2$$

et

(5) $$u=M\left(\cos\varphi-\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)+\frac{\Pi}{g}\frac{\Omega^2\rho_0^2}{E}.$$

Soient k un point de OA_1; $x=Ok$; v l'allongement éprouvé par Ok; a le rayon du moyeu que l'on peut supposer inextensible. Considérons la portion de la pièce limi-

tée par les sections tranversales faites en a_1, a_2: ce fragment n'étant sollicité que par la force centrifuge, il vient

$$(6) \qquad E\frac{dv}{dx}=\frac{\Pi}{2g}\Omega^2(\rho_0^2-x^2),$$

expression dont le maximum correspond à $x=0$. Il faut donc que l'on ait

$$(7) \qquad \Gamma \geqq \frac{\Pi}{2g}\Omega^2\rho_0^2.$$

Ainsi donc, avec des bras d'une nature et d'une longueur déterminées, quelle que soit leur section, on ne peut pas dépasser une certaine vitesse angulaire sans qu'il y ait rupture.

Comme pour $x=a$, on a $v=0$, l'équation (6) donne

$$Ev=\frac{\Pi}{2g}\Omega^2\left(\rho_0^2x-\frac{x^3}{3}-\rho^2a+\frac{a^3}{3}\right),$$

et pour le point A_1

$$Ev=\frac{\Pi}{2g}\Omega^2\left(\frac{2}{3}\rho_0^3-\rho_0^2a+\frac{a^3}{3}\right).$$

Mais cette valeur n'est autre chose que celle de $E\rho_0u$ pour $\varphi=\alpha$; on a donc

$$ME\rho_0\left(\cos\alpha-\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)=-\frac{\Pi}{g}\Omega^2\left(\frac{2}{3}\rho_0^3+\frac{\rho_0^2a}{2}-\frac{a^3}{6}\right),$$

puis

$$H=\frac{\Pi\Omega^2\rho_0^2}{g}\,\frac{\left[1-\frac{\operatorname{tang}\alpha}{\alpha}\left(\frac{1}{3}-\frac{a}{2\rho_0}+\frac{a^3}{6\rho_0^3}\right)\right]}{\frac{\operatorname{tang}\alpha}{\alpha}-1}.$$

Le dénominateur de cette expression est positif; pour

qu'il en soit de même du numérateur, il suffit en remarquant que $\frac{a^3}{6\rho_0^3}$ est une petite fraction, que $\operatorname{tang} \alpha < 3\alpha$, ou que α soit inférieur à 76 degrés, ce qui a toujours lieu.

Soient 2ε l'épaisseur de l'anneau dans le sens du rayon, $V = \Omega\rho_0$ la vitesse à la circonférence; en exprimant que la plus grande tension élastique développée est inférieure à Γ, on trouve

$$\frac{\Pi V^2}{g}\left\{1 + \frac{\varepsilon}{\rho_0}\frac{\left[1 - \frac{\operatorname{tang}\alpha}{\alpha}\left(\frac{1}{3} - \frac{a}{2\rho_0} + \frac{a^3}{6\rho_0^3}\right)\right]}{\frac{\operatorname{tang}\alpha}{\alpha} - 1}\right\} < \Gamma,$$

et l'on peut poser tout simplement

$$(8) \qquad \frac{\Pi V^2}{g}\left\{1 + \frac{\varepsilon}{\rho_0}\frac{\left[1 - \frac{\operatorname{tang}\alpha}{\alpha}\left(\frac{1}{3} - \frac{a}{2\rho_0}\right)\right]}{\frac{\operatorname{tang}\alpha}{\alpha} - 1}\right\} = \Gamma.$$

Mais on a

$$PV^2 = \mu . \frac{nF}{N},$$

$$P = \sigma 2\pi\rho_0 O,$$

et l'équation ci-dessus devient

$$(9) \qquad \frac{\mu n F}{Ng}\left\{1 + \frac{\varepsilon}{\rho^0}\frac{\left[1 - \frac{\operatorname{tang}\alpha}{\alpha}\left(\frac{1}{3} - \frac{a}{2\rho_0}\right)\right]}{\frac{\operatorname{tang}\alpha}{\alpha} - 1}\right\} = \Gamma\sigma . 2\pi\rho_0.$$

Si ν est le nombre des bras, on a $\alpha = \frac{\pi}{\nu}$, et l'équation précédente montre que, au point de vue de la résistance de l'anneau, il est avantageux de ne pas multiplier le nombre

des bras, et de réduire autant que possible l'épaisseur de la pièce en lui donnant une plus grande largeur.

Du mouvement varié. — Nous avons étudié jusqu'ici le cas où le mouvement de la machine serait devenu à très-peu près uniforme, et, à ce point de vue, il serait plus que suffisant de donner aux bras une section telle que chacun d'eux put résister par compression au poids total de l'anneau. Mais les variations qu'éprouve la vitesse angulaire déterminent des efforts qui tendent à rompre les bras à leur jonction avec le moyeu. Nous avons donc ici une nouvelle question à traiter.

Soient :

ω la vitesse angulaire variable ;

OA'_1, OA, OA_1 (*fig.* 2) les axes de figure de trois bras consécutifs ;

B, B' les milieux des arcs AA_1, $A_1A'_1$;

B_1, B_1' ceux des arcs qui relient respectivement les extrémités de OA_1, OA'_1 à celles du bras suivant et du bras précédent ;

2α l'angle formé par deux bras consécutifs ;

φ l'angle formé avec OA par un rayon quelconque ;

N, Q les composantes élastiques développées suivant la tangente et le rayon aux points B, B, B', B'_1 ;

F, T les composantes suivant la tangente et le rayon de l'action exercée par chaque bras sur l'anneau.

Nous attribuerons à σ, σ', ρ_0, φ, I, τ, u, a, ν les mêmes significations que ci-dessus.

Considérons la portion $B'AB$ de l'anneau sollicitée en B par N et Q, en B' par $-N$ et $-Q$, en A par F et T. On reconnaît acilement que

$$F + 2N \sin \alpha = 0,$$

$$T - 2Q \sin \alpha - 2 \frac{\sigma \Pi}{g} \rho_0^2 \frac{d\omega}{dt} \int_0^\alpha \cos\varphi \, d\varphi =$$

$$= T - 2Q \sin \alpha - 2\sigma \frac{\Pi}{g} \rho_0^2 \frac{d\omega}{dt} \sin \alpha = 0.$$

Si l'on établit de la même manière les conditions d'équilibre de translation du segment B'_1BAB_1, on trouve

$$F + 2F\cos\alpha + 2N\sin 2\alpha = 0,$$
$$T + 2T\cos\alpha - 2Q\sin 2\alpha - 2\sigma\frac{\Pi}{g}\rho_0^2\frac{d\omega}{dt}\sin 2\alpha = 0.$$

Pour que les équations soient compatibles avec les précédentes, il faut que

$$T = 0, \quad F = 0, \quad N = 0$$
(10) $$Q = -\sigma\frac{\Pi}{g}\rho_0^2\frac{d\omega}{dt}.$$

Soit τ la composante élastique de glissement développée dans la section du bras OA, faite au point k, à la distance x du point O; on a

$$\tau = \frac{\Pi}{g}\sigma'\rho_0\left(\frac{\rho_0 + x}{2}\right)\frac{d\omega}{dt}.$$

Considérons maintenant la portion du volant extérieure au cylindre d'axe O, de rayon $OK = x$; J le moment d'inertie de la section droite du bras par rapport à la parallèle à l'axe O menée par son centre de gravité; γ le rayon de courbure en k après la déformation; 2δ la plus grande dimension transversale des bras; A le moment d'inertie de l'anneau.

Les forces d'inertie dues à $\frac{d\omega}{dt}$ se réduisent à un couple dont le moment est

$$\frac{A\,d\omega}{dt} + \frac{\Pi\nu\sigma'}{g}\frac{d\omega}{dt}\int_x^{\rho_0} x^2dx = \frac{d\omega}{dt}\left[A + \frac{\Pi}{g}\nu\frac{\sigma'}{2}.(\rho_0^2 - x^2)\right].$$

Ce couple, en faisant abstraction du mouvement vibra-

toire du volant, fait équilibre aux ν couples élastiques $\frac{EJ}{\gamma}$ et aux forces τ. On a donc

$$(11)\qquad \frac{\nu EJ}{\gamma} = \left\{ A + \frac{\Pi}{g}\nu\sigma' \left[\frac{\rho_0^3 - x^3}{3} - \frac{(\rho_0 + x)\rho_0 x}{2} \right] \right\} \frac{d\omega}{dt},$$

d'où, pour la tension élastique maximum développée dans la section considérée

$$\frac{E\delta}{\gamma} = \frac{\delta}{J} \left\{ \frac{A}{\nu} + \frac{\Pi}{g}\sigma' \left[\frac{\rho_0^2 - x^2}{3} - \frac{(\rho_0 + x)\rho_0 x}{2} \right] \right\} \frac{d\omega}{dt}.$$

Cette expression atteint sa plus grande valeur lorsque $x = a$; en appelant η la plus grande valeur que peut atteindre $\frac{d\omega}{dt}$, on satisfera aux conditions de résistance des bras en posant

$$\frac{\delta}{J} \left(\frac{A}{\nu} + \frac{\Pi\sigma'}{g} \frac{\rho_0^3}{3} \right) \eta = \Gamma.$$

On peut, en vue d'obtenir une plus grande sécurité, faire abstraction des nervures extérieures des bras; leur section se réduit alors en général à un rectangle, et l'on a $J = \frac{2}{3}\delta^3\sigma'$, et comme $A = \frac{P}{g}\rho_0^2$, il vient

$$(12)\qquad \left(\frac{P}{g\nu}\rho_0^2 + \frac{\Pi}{g}\sigma' \frac{\rho_0^3}{3} \right) \eta = \frac{2}{3}\Gamma\sigma'\delta.$$

Telle est la formule dont on devra faire usage pour calculer l'équarrissage des bras.

Pour les machines à vapeur, on a

$$A\frac{d\omega}{dt}=2\pi QR\left\{\frac{\sin\theta}{2(1-\cos\alpha)\left[1+\log\text{nep}\frac{2}{1-\cos\alpha}\right]}-\frac{1}{2\pi}\right\},\text{ pour }\theta<\alpha.$$

$$A\frac{d\omega}{dt}=2\pi QR\left\{\frac{\cos\frac{\theta}{2}}{2(1-\cos\alpha)\left[1+\log\text{nep}\frac{2}{1-\cos\alpha}\right]}-\frac{1}{2\pi}\right\},\text{ pour }\theta>\alpha,$$

En vertu de la première équation, on devra prendre

$$(13)\qquad \eta=\frac{2\pi QR}{A}\left\{\frac{\sin\alpha}{2(1-\cos\alpha)\left[1+\log\text{nep}\frac{2}{1-\cos\alpha}\right]}-\frac{1}{2\pi}\right\},\text{ pour }\alpha<\frac{\pi}{2},$$

$$\eta=\frac{2\pi QR}{A}\left\{\frac{1}{2(1-\cos\alpha)\left[1+\log\text{nep}\frac{2}{1-\cos\alpha}\right]}-\frac{1}{2\pi}\right\},\text{ pour }\alpha>\frac{\pi}{2}.$$

La plus grande valeur donnée par la seconde équation sera

$$(14)\qquad \eta=\frac{2\pi QR}{A}\left[\frac{\cot\frac{\alpha}{2}}{2(1-\cos\alpha)\left(1+\log\text{nep}\frac{2}{1-\cos\alpha}\right)}-\frac{1}{2\pi}\right].$$

On devra choisir pour η la plus grande des valeurs don-

nées par la formule (14) et par celle des formules (12) qui s'applique à la question.

On peut encore opérer plus simplement en remarquant que l'on peut sans grande erreur prendre $\eta = \frac{\Omega}{n(\Phi - \varphi)}$, Φ étant l'un ou l'autre des angles que nous avons désignés par Φ ou Φ'.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

LAMÉ (GABRIEL),

Ingénieur en chef des mines, Membre de l'Institut.

Par M. EUG. LEFÉBURE DE FOURCY, inspecteur général des mines.

M. Lamé, ingénieur en chef des mines en retraite, est mort à Paris le 1er mai 1870. Le trouble apporté par la guerre et l'insurrection à la publication de nos *Annales* n'a point permis d'y insérer, en son temps, la notice nécrologique qui aurait dû, suivant un usage pieusement suivi dans le corps des mines, retracer les principaux traits d'une vie si brillamment remplie. Gendre de M. Lamé, et devenu presque son fils par notre mutuelle affection, il ne m'appartient pas de faire ici un éloge qui paraîtrait intéressé dans ma bouche. Je dois me borner à citer quelques dates conservées dans les souvenirs ou les archives de la famille. Les discours prononcés sur la tombe de mon beau-père compléteront l'insuffisance de cette simple note biographique.

Lamé (Gabriel) naquit à Tours, le 22 juillet 1795, l'un des cinq enfants d'une bonne famille bourgeoise, qui perdit son aisance patrimoniale à la Révolution, et dont il fut toute sa vie le plus dévoué et le plus généreux soutien. A la suite de tardives études où il n'eut pour guides que quelques livres et son génie naissant, il entra en 1814 à l'École polytechnique.

Élève ingénieur des mines le 11 décembre 1817, aspi-

rant le 20 novembre 1820, on le voit dès le commencement de 1821 entrer, avec Clapeyron, au service de Russie, par mission et congé extraordinaire, sous le ministère du duc de Richelieu. C'est à cette époque que remonte l'union dans la science des noms de Lamé et de Clapeyron. Une juste illustration a consacré cette noble association que fonda et soutint la plus inaltérable des amitiés.

Successivement major, lieutenant-colonel et colonel du génie au corps des voies et communications de Saint-Pétersbourg, professeur d'analyse, de mécanique, de physique, de chimie à l'École d'application de ce corps, Lamé ne se laissa point oublier dans la mère-patrie. De remarquables mémoires envoyés de Russie lui valurent, à la date du 26 avril 1822, le grade d'ingénieur de 2e classe, et le 11 janvier 1831, sur la demande de notre ambassadeur, il fut nommé chevalier de la Légion d'honneur (étant encore colonel au service de Russie, et comme faisant honneur au nom français à l'étranger).

Découragé par les difficultés que la Révolution de juillet créait aux fonctionnaires français de Saint-Pétersbourg, Lamé revint à Paris vers la fin de 1831, pour s'y consacrer tout entier à la famille et à la science. Trois mois après son retour, il obtenait à l'École polytechnique la chaire de physique, qu'il garda jusqu'en 1844.

Élevé, le 29 avril 1832, au grade d'ingénieur de 1re classe, il fut, de 1834 à 1839, l'un des constructeurs des deux premiers chemins de fer exécutés autour de Paris, celui de Saint-Germain et celui de Versailles (rive droite).

Nommé ingénieur en chef de 2e classe, le 22 décembre 1836;

Élu, en 1843, membre de la section de géométrie à l'Académie des sciences;

Chargé, le 13 novembre 1844, à l'École polytechnique, des examens de sortie pour l'analyse et la mécanique, plus tard pour la mécanique et les machines;

Promu, le 23 décembre 1845, au grade d'ingénieur en chef de 1re classe;

Appelé, le 10 avril 1851, à professer les cours de probabilités et de physique-mathématique à la Faculté des sciences de Paris;

Lamé, frappé des premières atteintes d'une surdité qui devait attrister le reste de sa carrière, résigna, en 1862, ses fonctions d'examinateur et, bientôt après, celles de professeur.

Le *Bureau des longitudes* lui offrit, en 1863, une honorable retraite.

Les Académies des sciences de Saint-Pétersbourg, de Berlin, de Turin, de Stockholm, etc., avaient successivement tenu à honneur de l'admettre dans leur sein.

Cinquante années de professorat, des travaux de l'analyse la plus ardue avaient fatigué, avant le temps, une intelligence qui ne connut jamais le repos. Les parents et les amis de Lamé, le monde savant qui avait été pour lui comme une seconde famille, eurent la douleur de voir ses merveilleuses facultés s'obscurcir, puis s'éteindre. Après s'être survécu, près de deux ans, à lui-même, il finit le 1er mai 1870, laissant pour unique héritier de son nom un fils, officier d'artillerie. La mort lui épargna du moins les angoisses qu'une guerre funeste réservait au cœur des pères.

DISCOURS PRONONCÉS AUX FUNÉRAILLES DE M. LAMÉ

Le mardi 3 mai 1870.

DISCOURS DE M. BERTRAND,
Membre de la section de géométrie,

AU NOM DE L'INSTITUT.

Messieurs,

La mort de notre excellent et illustre confrère est une perte cruelle pour l'Académie. Sa tâche d'inventeur était depuis longtemps accomplie, et les infirmités qui l'éloignaient de nos séances lui avaient interdit le travail; mais la gloire d'un tel nom était encore une force pour nous tous, et la section de géométrie pouvait, après tant de pertes, saluer avec un légitime orgueil, dans son vénéré et cher doyen, l'un des représentants les plus élevés, en Europe, de la physique mathématique et de la philosophie naturelle.

Lamé a été un grand géomètre, il a créé des méthodes aujourd'hui classiques; mais il était avant tout un grand esprit, un penseur aux conceptions hardies, un investigateur obstiné des secrets les plus cachés de la nature.

Aucun rôle n'est plus grand dans l'histoire de la science que celui des physiciens géomètres. Cette grande école a compté dans notre Académie depuis Huyghens de bien illustres représentants; celui que nous perdons aujourd'hu était, dans l'opinion de tous, leur plus éminent successeur.

Peu d'esprits, à aucune époque, ont été plus aptes que celui de Lamé au maniement des formules analytiques. Il excellait à donner une forme élégante et concise aux expressions les plus rebelles. Quelque question qu'il abordât, la solution contenait, comme à son insu, d'admirables dé-

veloppements analytiques, dont il était le seul à méconnaître l'intérêt propre.

Il avait placé plus haut le but de ses efforts; les mathématiques ont été surtout à ses yeux un instrument destiné à pénétrer la nature. La joie qu'il éprouvait parfois à contempler l'élégance de ses méthodes et de ses résultats intermédiaires n'était pas chez lui la satisfaction vulgaire de l'auteur complaisant pour son œuvre; il songeait trop à ce qui lui restait à faire, pour s'enorgueillir de ce qu'il avait fait. L'esprit toujours tendu vers le but qu'il espérait atteindre, toute autre conquête était à ses yeux sans valeur; et si les bonnes fortunes analytiques, si souvent admirées par de si grands juges, ne le laissaient pas indifférent, c'est qu'il estimait qu'elles ne sont possibles que sur la route de la vérité.

Cette conviction, aussi sincère chez lui que modeste, n'était pas partagée par les géomètres. Trop d'exemples prouvent que ces hasards heureux n'arrivent qu'à certains esprits, et qu'à ceux-là ils arrivent toujours. L'algèbre, comme toutes les langues, a ses grands écrivains qui savent marquer tous les sujets à l'empreinte de leur génie, et forcer l'admiration de ceux mêmes qui n'acceptent pas leurs prémisses; mais le triomphe des idées est pour les esprits de premier ordre le seul but réellement digne d'effort, et le seul souvenir qu'ils veulent attacher à leur nom.

Telle a été la préoccupation incessante de Lamé. Il ne s'était rien proposé de moins que de relier toutes les lois physiques dans les conséquences d'un principe unique, en les rattachant, avec celles de la mécanique et du système du monde, à l'étude d'un fluide, dont les physiciens, depuis Fresnel, ne contestent plus l'existence. Malgré les grands travaux qui la préparent, une œuvre aussi vaste ne pouvait être accomplie par un seul homme. Lamé savait qu'il n'y mettrait pas la dernière main, mais il a épuisé ses forces à l'attaquer en tous sens.

Les auditeurs de la Sorbonne n'ont pas oublié les accents généreux qui, chaque année, au début de son cours, les conviaient à la tâche pour laquelle il eût voulu unir les efforts de tous. Persuadé que le succès était proche, peu lui importait que d'autres atteignissent le but avant lui, pourvu que la vérité fût révélée.

Cet enthousiasme éloquent, par lequel il stimulait les jeunes savants, Lamé le portait dans toutes les questions qui intéressaient la science; il nous étonnait, sans jamais froisser personne, par l'ardeur de ses convictions et l'élévation passionnée et émue de sa parole. On sentait à toute occasion, sous la rigueur du géomètre, l'imagination brillante, féconde, poétique parfois, du philosophe et la générosité entraînante et dévouée de l'homme de bien.

L'élévation et la variété de son œuvre n'ont jamais altéré la modestie de notre excellent confrère; il s'humiliait devant la grandeur des problèmes dont il ne pouvait détacher ses efforts, en réservant pour les principes seuls de ses travaux son admiration tout entière.

L'avenir prononcera: mais que sa cause triomphe, ou que ses espérances s'évanouissent, l'histoire de la science devra lui consacrer plus d'une page et saluer à plus d'un titre les œuvres que leur solide beauté ferait survivre, quoi qu'il puisse arriver, aux hypothèses mêmes qui les ont inspirées.

DISCOURS DE M. COMBES,

Inspecteur général des mines,

AU NOM DES INGÉNIEURS DU CORPS DES MINES.

Messieurs,

Le corps des ingénieurs des mines, dont je suis ici l'organe, tient à honneur de revendiquer comme l'un des siens le professeur illustre, le géomètre éminent dont nous venons

rendre les restes mortels à la terre. Les premiers travaux de Lamé ont été publiés dans le recueil des *Annales des mines*, de 1819 à 1830. C'est d'abord un Mémoire sur une nouvelle manière de calculer les angles des cristaux, où l'auteur, tout en reconnaissant les avantages particuliers aux considérations purement géométriques appliquées par Haüy, montre comment l'analyse de Descartes conduit à une formule générale qui embrasse tous les cas possibles. Une note de la rédaction nous apprend que cet article est extrait d'un ouvrage de Lamé, ayant pour titre : *Examen des différentes méthodes employées pour résoudre les problèmes de géométrie*, et les rédacteurs ajoutent : « Cet ouvrage « sera lu avec un grand intérêt par les personnes qui se « livrent à l'étude des mathématiques ; elles y trouveront « des principes généraux dont elles pourront faire de fré- « quents usages pour la solution des problèmes. » Lamé était alors élève ingénieur des mines. Le tome suivant du recueil renferme des extraits du *Journal du voyage* qu'il fit avec M. Thirria aux usines du Creuzot et à celles de Vienne et de la Voulte, dans la vallée du Rhône.

On sait qu'en quittant l'École des mines, Lamé et son ami Clapeyron partirent pour la Russie, où ils séjournèrent jusqu'en 1831, remplissant à la fois les fonctions de professeurs et d'ingénieurs. Pendant ces dix années, ils entretinrent une correspondance suivie avec plusieurs membres du corps des mines, particulièrement avec M. Baillet, professeur du cours d'exploitation des mines. Lamé écrivait, en 1824, à cet excellent homme, son vénéré maître et le mien : « *Le souvenir des leçons dans lesquelles vous m'avez inspiré le goût de la mécanique pratique me fait espérer que ce que je prends la liberté de vous écrire ici ne sera pas sans intérêt pour vous.* »

On trouve dans cette lettre un exposé bref et élégant du calcul des ponts suspendus en chaînes de fer, la description d'une machine à essayer les résistances des chaînes à

la rupture et à l'extension, et les résultats des expériences faites sur des fers de diverses provenances. L'année suivante, il adressait également à M. Baillet les éléments principaux du projet d'un pont en chaînes de 1022 pieds d'ouverture sur la Néva, dressé par lui, par Clapeyron et par Bazaine, du corps des ponts et chaussées de France, engagé comme eux au service de la Russie.

Ils avaient envoyé, l'année précédente, à l'Académie des sciences, un Mémoire sur la stabilité des voûtes, composé à l'occasion de la reconstruction de l'église Saint-Isaac, à Saint-Pétersbourg, présentant deux portiques semblables à celui du Panthéon de Rome, dont chacun devait être recouvert par une voûte en berceau et en plein cintre, et par deux plates-bandes latérales. La voûte de plus de 40 pieds de diamètre, assise sur des colonnades sans autre massif latéral pour résister à la poussée, présentait de graves difficultés et des doutes avaient été élevés sur sa stabilité. Chargés de traiter la question, ils établirent une théorie qui, au jugement de l'illustre rapporteur de l'Académie, M. de Prony, offrait des résultats curieux et nouveaux, obtenus par une analyse conduite avec *adresse et élégance*. L'originalité et la netteté de l'exposition sont également de sa part l'objet d'éloges auxquels l'Académie s'associait en 1823, et qui ont été consacrés depuis par l'assentiment de tous les ingénieurs.

Le Mémoire sur les engrenages, imprimé en 1824 et resté classique dans l'enseignement des machines, se distingue par les mêmes qualités.

En 1828, Lamé, sans avoir eu connaissance des travaux antérieurs de Navier et de Cauchy sur l'équilibre intérieur des solides élastiques, arriva non-seulement aux mêmes résultats que ces illustres géomètres, mais encore en obtint beaucoup d'autres, parmi lesquels nous citerons la découverte des surfaces que l'on peut appeler, suivant l'expression de notre savant confrère M. de Saint-Venant, les

deux véritables ellipsoïdes des pressions, dont l'un donne par ses rayons vecteurs leurs directions et intensités, et l'autre par ses plans tangents les directions des faces sur lesquelles agissent ces pressions. Son beau Mémoire, écrit en Russie en commun avec Clapeyron, commença à élucider une matière auparavant difficile à aborder. Les leçons sur l'élasticité, de 1852, ont complétement éclairé ce sujet et ont approprié les principes de l'équilibre intérieur des corps aux applications même pratiques, ainsi que le montrent les récents mémoires de savants ingénieurs des ponts et chaussées sur l'équilibre des terres et l'hydrodynamique des cours d'eau.

Le Mémoire de 1828 présente d'admirables exemples d'intégration des équations de l'élasticité; mais le plus mémorable est la magnifique solution, donnée vingt ans plus tard, du problème de la déformation d'une sphère élastique pleine ou creuse, sollicitée par des forces distribuées d'une manière quelconque à sa surface.

Après sa rentrée en France en 1830, Lamé, devenu professeur à l'École polytechnique et à la Faculté des sciences de Paris, a néanmoins coopéré, comme ingénieur, avec son ami Clapeyron, à la grande œuvre de la construction des chemins de fer; il a pris une part effective et considérable aux projets et à l'exécution de ceux de Paris à Saint-Germain et de Paris à Versailles, rive droite.

Lamé n'a donc pas été seulement un géomètre éminent et l'un des écrivains les plus distingués de notre temps. Ses travaux ont eu et auront pour l'art des constructions des conséquences pratiques dont l'importance devient chaque jour plus manifeste. Son nom appartient à la fois à l'histoire de la science pure et à celle des sciences appliquées par les ingénieurs du corps auquel il s'honorait d'appartenir. C'est parmi eux qu'il a choisi celui à qui il a confié le bonheur de sa fille, et qui a partagé avec elle les soins pieux, dont il a été entouré dans sa vieillesse et sa longue maladie.

Tous ceux d'entre nous qui ont eu le bonheur de connaître Lamé l'aimaient pour les excellentes qualités de son cœur, autant qu'ils l'admiraient pour les grandes et brillantes facultés de son esprit. Sa mémoire, dont nous ne séparerons pas celle de Clapeyron, restera en vénération dans le corps des ingénieurs des mines.

DISCOURS DE M. PUISEUX,

Professeur à la Faculté des sciences,

AU NOM DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

Messieurs,

En présence de cette tombe qui va se refermer sur une de nos gloires scientifiques, vous permettrez aux professeurs de la Faculté des sciences de Paris d'exprimer la douleur que leur cause la perte d'un collègue vénéré. Chargé de leur servir d'organe, j'essayerai de remplir cette pieuse mission en vous disant combien, parmi nous, les travaux de M. Lamé étaient admirés et combien aussi était apprécié son noble caractère.

Attiré vers les recherches spéculatives par la conscience de son génie, M. Lamé s'était, de bonne heure, donné tout entier à la science. Ses premières productions le placèrent au rang des maîtres. Laplace, Fourrier, Poisson, venaient de fonder la théorie mathématique de la chaleur; notre illustre collègue sut lui donner un nouvel essor. Il aborda victorieusement des questions qui avaient arrêté ses célèbres devanciers, et les méthodes fécondes qu'il imagina pour les résoudre ne servirent pas seulement à perfectionner cette théorie particulière; elles ouvrirent une voie nouvelle dans les recherches de géométrie et de physique mathématique. Admirablement écrits d'ailleurs, ces premiers

mémoires de M. Lamé peuvent être cités, aussi bien que les ouvrages qui les ont suivis, comme des chefs-d'œuvre de rigueur et de netteté, comme de vrais modèles du style scientifique.

La physique mathématique, cette science de création toute moderne, a été l'objet principal et préféré des recherches de M. Lamé, et, bien que nous lui devions des travaux très-importants sur d'autres sujets, notamment sur la théorie des nombres, il est toujours revenu à ses études de prédilection. Il y était rappelé d'ailleurs par son enseignement, et les leçons, qui avaient captivé son auditoire de la Sorbonne, devenaient la matière d'excellents traités où presque tout est original, et qui ont puissamment contribué à l'avancement des hautes études mathématiques.

M. Lamé avait cette passion de la vérité scientifique qui enfante les découvertes; les progrès de la science excitaient chez lui un vif enthousiasme; il rêvait une époque où les lois primordiales du monde matériel se dévoileraient à nos yeux; il entrevoyait, et il aimait à le croire prochain, le moment où l'esprit humain, guidé par l'analyse mathématique, tirerait d'un petit nombre de principes certains l'explication rationnelle des phénomènes physiques. Même à ses dernières leçons, lorsque les infirmités amenées par l'âge et le travail inspiraient déjà de vives craintes aux admirateurs de son talent, M. Lamé retrouvait, dans la contemplation de ces belles perspectives, une ardeur toute juvénile, et il la faisait partager à ses auditeurs.

Aussi M. Lamé n'a pas seulement écrit des mémoires et des livres d'une importance capitale dans la science; il a formé des disciples, et, parmi les travaux des jeunes géomètres d'aujourd'hui, il en est bien peu qui ne portent la trace de l'heureuse influence exercée par l'éminent professeur.

Il accueillait d'ailleurs les débutants avec une bienveillance qu'ont éprouvée plusieurs de ceux qui m'entendent,

et dont j'ai gardé pour ma part un précieux souvenir. Il leur apprenait, par son exemple, à chercher dans la vie autre chose que la fortune et la satisfaction des ambitions vulgaires ; il les encourageait en même temps par la bonté avec laquelle il accueillait leurs travaux, dès qu'il y apercevait quelque mérite. De tels hommes sont rares, et leur perte est pour nous un bien juste sujet d'affliction. Mais la Providence, qui les a suscités pour nous servir de modèles, les récompense sans doute, dans un monde meilleur, du noble usage qu'ils ont fait de leurs hautes facultés. C'est dans cet espoir, que j'adresse à notre regretté collègue un suprême adieu.

MÉMOIRE

SUR LES ESSAIS FAITS A LA COMPAGNIE DES MINES D'ANZIN AVEC LES PERFORATEURS MÉCANIQUES A AIR COMPRIMÉ DE LA VIEILLE-MONTAGNE.

Par M. A. PERNOLET, ex-ingénieur aux mines d'Anzin,
Ancien élève de l'École des mines de Paris.

En 1868, la compagnie des mines d'Anzin ayant terminé à Haveluy l'installation d'un double siége d'exploitation, le directeur général, M. de Marcilly, pour gagner quelques années sur le temps — toujours long — qu'on met à faire, dans une fosse neuve, les grands travers-bancs qui permettent seuls de fortes extractions, prit le parti d'appliquer à leur creusement les moyens mécaniques.

Afin d'éviter toute école en entrant dans cette voie, M. de Marcilly fit étudier, à Saarbruck et à la Vieille-Montagne, par deux ingénieurs de la compagnie, les perforateurs mécaniques employés dans ces localités, et pour se fixer définitivement sur leur valeur, il loua à la Société de la Vieille-Montagne quatre de ses perforateurs, qui fonctionnèrent pendant deux mois à la Fosse-Saint-Léonard, près Vieux-Condé, où la compagnie possédait une machine à comprimer l'air qui avait été montée pour mettre en mouvement une haveuse mécanique. Ayant été chargé de suivre ces essais pendant toute leur durée, je crois utile de faire connaître ici tout ce qu'ils apprirent sur cette question si intéressante de la perforation mécanique. Les perforateurs essayés ne furent pas adoptés par la compagnie, mais les essais faits nous permirent de nous fixer sur tous les détails

du problème et ils nous guidèrent sûrement dans le choix qui fut fait deux ans plus tard, après des voyages au mont Cenis et aux mines de Marihaye, près Liége, du perforateur de MM. Dubois et François, perforateur qui fonctionnerait déjà à Haveluy si la guerre n'était venu tout arrêter.

Ces essais méritent donc d'être publiés, et pour que le présent mémoire complète utilement les deux études que j'ai déjà données dans les *Annales* (tome XVII, 3e livraison, et tome XX, 1re livraison) sur les perforateurs de Saarbruck et de la Vieille-Montagne, je m'appliquerai à faire ressortir par des chiffres précis — résultats d'expériences faites dans les conditions mêmes de la pratique courante — le fort et le faible des appareils de ce genre, ainsi que la voie dans laquelle il faut marcher si l'on veut arriver à des résultats assez avantageux pour compenser les frais de premier établissement — toujours gros — qu'entraîne inévitablement la substitution des machines à la main de l'homme.

PRODUCTION DE L'AIR COMPRIMÉ.

La machine à comprimer l'air était celle que MM. Jones et Levick avaient fournie avec leur haveuse. C'était une machine à vapeur très-mal conçue, dans laquelle les deux pistons, moteur et compresseur, étaient portés par une tige commune traversant les fonds opposés des deux cylindres qui étaient installés dans le prolongement l'un de l'autre, sur un bâti commun en fonte. Cette machine est représentée en coupe par la *fig.* 5 de la Pl. IV qui en fait comprendre toute la disposition. La distribution se faisait par un tiroir équilibré que commandait un petit piston voyageant dans un cylindre spécial établi sur le grand cylindre et dont le iroir était mis en mouvement par un système de leviers mus par les pistons eux-mêmes au moyen d'une tige traversant les deux fonds de cylindres et contre laquelle ils venaient se heurter, à l'extrémité de leur course. Les sou-

papes d'aspiration et de refoulement d'air (qui étaient au nombre de quatre sur chacun des fonds du cylindre, deux d'aspiration et deux de refoulement), étaient circulaires, en bronze et guidées par leur milieu; elles reposaient sur un siége formé par un anneau en caoutchouc durci, siége sur lequel des leviers à contre-poids les maintenaient toujours appliquées. Les pistons étaient des pistons suédois en fonte à trois ressorts. Le cylindre à air était contenu dans une bâche rectangulaire en fonte qu'on maintenait pleine d'eau pour éviter l'échauffement. Aucun volant ne régularisait la marche de cette machine, qui était saccadée et brutale.

Les dimensions principales étaient les suivantes:

Diamètre des pistons moteur et compresseur. . .	$0^{m},419$
Course.	$1^{m},200$
Surface du piston compresseur.	$0^{m2},1378$
Volume engendré par course. $0^{m2},1378 \times 1^{m},20 =$	$0^{m3},165.360$
Pression de vapeur.	4 atmosphère effectives.
Nombre de coups par minute.	10 au plus.

Dans ces conditions la pression de l'air était d'une atmosphère inférieure à celle de la vapeur, et chaque coup simple donnant $0^{m3},165.560$, le compresseur produisait par minute:

$$\frac{0^{m3},165.360 \times 2 \times 10}{4} = 1^{m3},102.400 \text{ à 3 atmosphères effectives,}$$

ou $3^{m3},307.200$ à la pression ordinaire.

RÉSERVOIR ET CONDUITE D'AIR.

L'air, comprimé dans le cylindre, était conduit dans un réservoir formé d'un tuyau en tôle de 1 mètre de diamètre intérieur et de $4^{m},650$ de longueur représentant une capacité de: $0^{m2},785 \times 4^{m},650 = 3^{m3},650.250$.

La conduite d'air reliant le réservoir aux perforateurs avait une longueur totale de 168 mètres se décomposant comme suit:

15 mètres de tuyaux en fonte de $0^m,110$ de diamètre intérieur, du réservoir au puits;

103 mètres de tuyaux de même diamètre, dans le puits;

50 mètres de tuyaux en fer étiré de $0^m,050$ de diamètre intérieur, allant de la base du puits aux perforateurs.

La tuyauterie en fer étiré s'arrêtait à 7 mètres du front d'attaque, et un tuyau en caoutchouc de 10 mètres de longueur et de $0^m,045$ de diamètre intérieur la reliait au perforateur.

Un second tuyau en caoutchouc de 18 millimètres de diamètre intérieur se détachait de l'extrémité de la conduite, porté par un ajutage à robinet, et menait l'air au réservoir d'eau dans lequel il permettait d'établir la pression nécessaire pour injecter l'eau dans les trous en forage.

L'ensemble de cette conduite, jusqu'au tuyau en caoutchouc, que je néglige, représentait un volume de: $1^{m^3},219$ qui, joint à celui du réservoir, formait un volume total de $4^{m^3},869.250$. C'était très-insuffisant, et dès que, pour une cause ou pour une autre, survenait le moindre ralentissement dans la vitesse de la machine, la pression devenait insuffisante pour faire marcher les perforateurs.

PERFORATEUR.

Le perforateur employé était le perforateur Sachs, dont j'ai donné la description dans la 1re livraison du tome XX des *Annales*, description à laquelle je renvoie; ses dimensions étaient les suivantes :

	millimètres.
Diamètre du piston.	100
Course maximum.	140

Ils pesaient de 50 à 90 kilogrammes, les plus récemment construits étant les plus légers. Ils pouvaient battre 300 coups par minute, mais on ne les faisait marcher que très-rarement à cette vitesse, les roches dans lesquelles on tra-

vaillait n'étant pas assez dures pour permettre une grande vitesse. Normalement on leur faisait battre 250 coups : à cette vitesse le volume d'air consommé par coup était de $0^{m^3},001.458$ dont :

Pour la course en avant.	$0^{m^3},000.777$
Pour la course en arrière.	0 ,000.388
Pour les pertes (un quart du total).	0 ,000.293
Total.	$0^{m^3},001.458$

C'est par minute $0^{m^3},364.500$.

La pression de l'air n'étant, au fond, que de deux atmosphères effectives, on consommait, par minute et par appareil : $0^{m^3},729.000$ d'air à la pression ordinaire, le compresseur en livrant $3^{m^3},307.200$, c'est-à-dire 4, 5 fois plus.

FLEURETS.

Les fleurets étaient en fer avec bout en acier, leur diamant affectait la forme d'un Z. Chaque série se composait de cinq fleurets, présentant les dimensions suivantes :

NUMÉRO des fleurets.	LONGUEUR totale.	DIAMÈTRE au corps.	DIAMÈTRE au diamant.	POIDS.
	mètres.	millimètres.	millimètres.	kilogrammes.
1	0,48	20	42	1,800
2	0,60	20	40	1,860
3	0,75	20	38	2,166
4	0,90	18	36	2,700
5	1,15	18	34	3,000

Il y avait six séries de fleurets pour 4 perforateurs, dont un seulement en service à la fois. Au commencement du travail nous nous servions des fleurets tels qu'ils nous étaient arrivés de la Vieille-Montage, mais leur extrémité, qui avait la forme représentée par le n° 1 de la *fig.* 12 de la Pl. IV, s'usait très-rapidement, particulièrement sur les côtés du diamant ; de plus, comme la roche à forer était tendre,

et que l'outil y pénétrait rapidement, le curage du trou était rendu difficile par la grosseur des joues du diamant qui l'obstruaient presque complétement. Afin d'éviter cet inconvénient je fis amaigrir l'extrémité du fleuret, de manière à lui donner la forme représentée par le n° 2 de la *fig.* 12. Le travail devint immédiatement plus facile, et continuant dans cette voie, je fis faire deux séries dans lesquelles j'amaigris plus encore l'extrémité du fleuret, la raccordant brusquement au diamant comme l'indique le n° 3 de la *fig.* 12, de manière à laisser dans le trou en forage autant de jeu que possible autour du fleuret.

C'est cette dernière forme qui nous donna les meilleurs résultats, tant au point de vue de la facilité du curage des trous qu'au point de vue de l'usure : et, par la suite, tous les fleurets furent ramenés à ce type au fur et à mesure qu'ils rentraient à l'atelier.

La seule précaution à prendre dans la confection et la réfection des fleurets, c'est de les *centrer* bien exactement : il est d'absolue nécessité que l'axe du diamant soit bien l'axe réel du fleuret et de sa douille. Pour obtenir ce résultat, il importe de faire passer tous les fleurets sur le tour avant de les employer ; sans cela le battage se fait difficilement, le fleuret se coinçant à chaque instant dans le trou en forage.

AFFUT.

L'affût qui est représenté par les *fig.* 9 et 10 de la Pl. IV est l'affût Dœring. Il ne reçoit qu'un perforateur à la fois, mais sa construction permet de donner à ce perforateur unique toutes les orientations désirables.

L'affût se compose essentiellement d'une colonne *a*, *a* en fonte portée par une plate-forme en fer reposant sur quatre roues, et maintenue à sa partie supérieure par une potence en fer à cornière. Sur cette colonne est enfilé un manchon en fonte qui présente latéralement un second manchon *p* per-

pendiculaire au premier, manchon dans lequel passe un axe en fonte *b, b*, portant à son extrémité sur un axe perpendiculaire une fourche *s, s* qui reçoit le perforateur.

La colonne verticale et l'axe perpendiculaire sont munis de crémaillères sur lesquelles agissent de petits pignons établis à l'intérieur des manchons et permettant, au moyen des manivelles *m, m'* qui les commandent :

1° De faire monter ou descendre le premier manchon sur la colonne verticale;

2° De faire avancer ou reculer l'axe perpendiculaire par rapport au second manchon.

Comme en même temps la colonne et l'axe perpendiculaire peuvent tourner librement à l'intérieur des manchons, on voit que, la mobilité de la fourche aidant, on peut, avec cet affût, obtenir les mouvements suivants :

1° Au moyen de la manivelle *m*, faire monter ou descendre sur la colonne *a, a* l'axe *b, b* ;

2° Dans le plan horizontal de l'axe *b, b*, faire tourner cet axe autour de la colonne, et le fixer au moyen des écrous *c, c* dans telle direction qu'on voudra ;

3° Au moyen de la manivelle *m'*, faire avancer ou reculer dans la direction donnée précédemment, l'axe *b, b* ;

4° La direction et la saillie de l'axe *b, b* étant fixées, faire tourner cet axe sur lui-même, de manière à amener la fourche de suspension du perforateur dans tel plan tangent à l'axe qu'on voudra ;

5° Ce plan étant fixé au moyen des deux écrous *d, d*, donner, dans ce plan, la direction voulue à la fourche de suspension du perforateur, et par conséquent au perforateur. Pour fixer cette direction, il suffit de serrer l'écrou *e* qui maintient l'axe de la fourche.

On voit donc qu'avec cet affût il est possible de donner au perforateur tous les mouvements nécessaires pour lui permettre d'atteindre un point quelconque du front d'attaque ; mais on voit aussi que la mise en place du perfo-

rateur est une opération nécessairement longue, puisqu'elle exige au moins cinq mouvements de pièces lourdes et le serrage de cinq écrous.

A l'arrière de l'affût, sur sa plate-forme, et faisant équilibre à l'axe *b*, *b*, est établi le réservoir d'eau pour le curage des trous. Ce réservoir, qui est disposé comme l'indiquent les *fig.* 9 et 10, se compose de trois caisses en fonte : les deux caisses inférieures *f* et *f'* sont fermées, tandis que la caisse *g* reposant sur les deux premières, est ouverte et ne sert que pour introduire l'eau dans l'une ou l'autre des caisses fermées, avec lesquelles elle est mise en communication par les robinets *h* et *h'*. Chacune des caisses fermées porte trois robinets :

Un robinet *i* qui recevant le tuyau en caoutchouc de petit diamètre dont j'ai parlé plus haut, sert à l'admission de l'air comprimé;

Un robinet *k* qui portant le tuyau en caoutchouc terminé par la lance d'injection d'eau, laisse écouler l'eau que chasse la pression de l'air;

Un robinet *l* qui sert à mettre l'intérieur du réservoir en communication avec l'atmosphère, quand on veut le remplir d'eau.

La manœuvre de ces robinets se comprend d'elle-même : en marche les robinets *h* et *l* sont fermés, *i* et *k* restant seuls et ouverts. C'est l'inverse qui a lieu quand on remplit un des réservoirs.

Les réservoirs fonctionnent toujours alternativement, l'un étant en pression pendant que l'autre est en remplissage.

La caisse supérieure porte en avant, en *n*, un manomètre indiquant la pression de l'air que lui amène le tuyau fournissant l'air aux réservoirs.

ORGANISATION ET CONDUITE DU TRAVAIL.

Les perforateurs furent essayés dans une galerie à travers bancs de 2 mètres de hauteur et de 2 mètres de largeur au sol, la largeur à la couronne n'étant que de $1^m,500$. Sa section était de $3^{m^2},50$.

Sur le sol de la galerie était établie une double voie en rail à patin de $6^k,50$ au mètre ; cette double voie s'arrêtait à 15 mètres du front d'attaque, où elle était remplacée sur une longueur de 3 mètres, par un dallage en fonte qui permettait de passer de l'une ou l'autre des voies à la voie unique qui, au delà de ce rechangeage, allait dans l'axe de la galerie jusqu'au front d'attaque.

La largeur de la voie était de $0^m,60$ d'axe en axe des rails.

L'ensemble de ces dispositions est représenté par la *fig.* 8 de la Pl. IV.

En arrière du dallage, à 20 mètres environ du front d'attaque, était installé, dans un élargissement de la galerie, un fort cadre de boisage qui recevait le *bouclier*. Ce bouclier, destiné à protéger l'affût contre des pierres projetées par les mines au moment de l'explosion, se composait de fortes planches réunies par deux traverses horizontales clouées sur elles. Les *fig.* 4 et 5 de la Pl. IV donnent la disposition du cadre et du bouclier.

Le travail se faisait avec un seul perforateur, qu'on fixait sur la fourche de l'affût, comme l'indique la *fig.* 9, au moyen d'un boulon traversant la traverse d'arrière du perforateur dont les deux barres longitudinales reposaient à l'avant sur deux fourches disposées comme l'indique la *fig.* 11.

Au moment du travail, on avançait, jusqu'à quelques centimètres du front d'attaque, l'affût qui était garé en

arrière du bouclier sur l'une des deux voies, puis on le calait à la place convenable, comme l'indique la *fig.* 6, au moyen de deux systèmes de coins en bois serrés fortement entre l'affût et la couronne de la galerie.

L'affût étant installé, le chef de poste marquait les points où devaient être forés les trous de mines, pendant que les deux autres ouvriers disposaient toute la tuyauterie.

Ces opérations préliminaires terminées, les ouvriers chargés de la perforation amenaient le perforateur dans la direction de l'un des trous à forer, puis amorçaient le trou au pic de manière à empêcher le fleuret de glisser au début, et le battage commençait.

Pour le battage, l'un des ouvriers conduisait le perforateur, la main sur le robinet d'arrivée d'air, et l'œil sur le trou en forage; l'autre tenait à la main la lance du tuyau d'injection d'eau, qu'il dirigeait de manière à maintenir le trou toujours arrosé. Quand un fleuret avait pénétré dans la roche de toute sa longueur, on reculait le perforateur sur son châssis et substituait au fleuret un fleuret plus long, sans décaler l'affût. En moyenne, on devait changer deux à trois fois de fleuret (2,86 exactement) pour forer un trou d'une profondeur de $0^{m},615$, profondeur moyenne des trous forés à la machine. On forait successivement les quatre à six trous qui étaient disposés sur le front d'attaque comme le montre la *fig.* 7.

Dès que le battage était terminé on décalait l'affût, on le reculait derrière le bouclier, on bourrait les mines et installait le bouclier. En même temps que l'affût on mettait à l'abri tout ce qui pouvait souffrir de l'explosion, comme les tuyaux en caoutchouc, les clefs à écrous, etc.

Tout étant ainsi disposé, on mettait le feu aux mines, et aussitôt après l'explosion on ouvrait le robinet d'air de manière à expulser rapidement les fumées; puis, dès qu'on pouvait atteindre le front de la galerie, on détachait au pic tous les fragments de roches qu'avait fissurées l'explo-

sion, et on enlevait les déblais dans des wagonnets de mine ordinaires.

Le travail se faisait par poste de huit heures; le personnel de chaque poste se composait de trois hommes :

Un ajusteur chef de poste, qui conduisait le perforateur et était chargé de former les ouvriers à son maniement.

Deux ouvriers mineurs qui apprenaient à conduire le perforateur, et en réalité faisaient tout le travail à eux seuls, car dès le 7 septembre l'ajusteur ne venait plus qu'au commencement de chaque poste, surveiller la mise en train.

L'un des ajusteurs était celui qui, à la Vieille-Montagne, avait été chargé de la perforation mécanique : cette société l'avait mis à la disposition de la compagnie d'Anzin, en lui louant ses appareils, et c'est lui qui nous apprit à nous servir de ces machines.

En outre, à chaque poste était attaché un surveillant maître-mineur, ou élève maître-mineur, qui ne prenait point part au travail, mais qui était chargé d'en noter toutes les particularités ; il en tenait, *minute par minute*, un journal détaillé d'où j'ai tiré tous les chiffres qu'on trouvera plus loin.

NATURE DES ROCHES TRAVERSÉES.

Les roches traversées étaient des grès tendres à gros grains, stratifiés par bancs épais inclinés d'environ 30 degrés. Ces roches étaient légèrement mouillées, et se laissaient facilement entailler par le pic.

Le prix moyen du mètre courant de galerie creusée à la main y était de 34 francs pour une section de

$$3^{m2}.50 = \left[2^{m}.00 \times \left(\frac{2^{m}.00 + 1.50}{2}\right)\right],$$

l'avancement moyen par quinzaine était de 7 à 8 mètres.

Ces renseignements montrent que le terrain était exceptionnellement facile, et par conséquent peu favorable à l'emploi des moyens mécaniques, toujours très-coûteux, quand on ne peut leur faire rendre tout l'effet utile dont ils sont susceptibles. C'est ce qui arrive précisément pour les perforateurs dont nous nous sommes servis, quand, les roches étant tendres, le battage se trouve fréquemment entravé par l'empâtement de l'outil dans les trous.

TRAVAIL A LA MAIN.

Le travail ne devant être interrompu sous aucun prétexte, on battait les mines à la main toutes les fois que, pour une cause ou pour une autre, le battage à la machine se trouvait arrêté ou impraticable. Ces interruptions dans le travail à la machine ont quelquefois été très-prolongées, parce que la réparation des perforateurs se faisant aux ateliers d'Anzin, très-éloignés des puits où on les employait, on a souvent manqué de perforateurs. La première condition d'une marche régulière serait donc d'avoir un nombre de perforateurs au moins double de celui que nous avions, huit au lieu de quatre.

C'est ainsi que sur les quinze jours pendant lesquels les essais ont été suivis régulièrement, il y a eu trois jours et demi pendant lesquels on a battu exclusivement à la main ; si donc on retranche des onze autres jours et demi les deux dimanches (6 et 13 septembre), et un jour pendant lequel on a dû suspendre le travail à la suite d'une rasée, on voit qu'il n'est resté que huit jours et demi pour le travail au perforateur.

RÉSULTATS OBTENUS.

Pendant les douze jours de travail effectif qu'a présentés la première quinzaine de septembre, l'avancement total

a été de 7 mètres pour lesquels on a fait 172 trous représentant une profondeur totale forée de 101^{m},12.

Sur ces 101^{m},12, on a foré :

à la machine : 123 trous représentant une longueur totale de.	75^{m},48
à la main : 49 trous représentant une longueur totale de.	25^{m},64

Ces chiffres montrent que :

Par mètre de galerie, on a foré 24 trous 1/2, représentant une profondeur totale de 14^{m},44;

Et que, par mètre de trou foré, l'avancement de la galerie a été de 0^{m},069.

Si on divise l'avancement total de la quinzaine proportionnellement aux longueurs de trous forées à la main et à la machine, on trouve que la longueur creusée au perforateur a été de 5^{m},231, tandis que la longueur faite à la main n'a été que de 1^{m},769. Ce qui voudrait dire que si on marchait continuement, l'avancement par vingt-quatre heures serait : à la main de 0^{m},541 et à la machine de 0^{m},609, toutes opérations comprises. On gagnerait donc avec le perforateur 0^{m},068 par jour, ce qui correspond, ainsi que nous l'avons vu précédemment, à environ 1 mètre de trou foré.

La profondeur moyenne des trous a été de 0^{m},613 à la machine et de 0^{m},523 à la main. Ce qui montre que l'ouvrier ayant peu de peine à faire les trous à la machine, cherche à faire rendre à chacun d'eux un plus grand effet utile en le faisant plus profond. Aussi, grâce à cette plus grande profondeur des trous battus à la machine, n'en fait-on, par mètre de galerie, que 23,50, alors qu'à la main on en fait 27,6.

Si maintenant on compare le temps employé et la manière dont il se répartit dans les deux systèmes de battage, le temps total employé au travail étant représenté par 1,

on trouve pour les différentes opérations les fractions suivantes :

	BATTAGE à la main.		BATTAGE à la machine.		
Installation de l'affût.	. . . .		0,059		
Décallage. — Roulage. — Pose du bouclier. .	. . . .		0,051	0,227	
Orientation du perforateur.	. . . .		0,117		
Préparation de la place des trous.	0,073		0,020		
Graissage du perforateur.	»	0,586	0,006	0,281	0,572
Battage.	0.502		0,238		
Accidents divers.	0,011		0,017		
Manque de perforateurs (1).	. . . .		0,034	0,064	
Manque d'air (2).	. . . .		0,030		
Tirage à la poudre.	0,154		0,168		
Enlèvement des déblais.	0,191	0,410	0,173	0,424	
Pose de la voie.	0,020		0,040		
Repos.	0.045		0,042		
Total.	0,996		0,995		

(1 et 2) Ces deux articles — manque de perforateurs — manque d'air — disparaîtraient si la machine à comprimer l'air avait eu de bonnes soupapes et un nombre suffisant de perforateurs. On devrait donc n'en pas tenir compte.

Ce tableau, qui a été établi dans les relevés faits pour 123 trous battus à la machine et 49 trous battus à la main, montre que, dans les deux cas, le travail se divise en deux parties bien distinctes :

Le battage, qui occupe un peu plus de la moitié du temps total.

Les opérations accessoires, telles que le tirage à la poudre, l'enlèvement des déblais, la pose de la voie, qui prennent le reste.

Cette dernière partie du travail est évidemment indépendante du mode de battage, et doit par conséquent être mise hors de cause dans l'étude que nous faisons des perforateurs mécaniques : elle dépend de l'organisation du service qu'il importe de combiner avec intelligence.

COMPARAISON DU BATTAGE A LA MAIN ET DU BATTAGE A LA MACHINE.

Revenons donc à la première partie, et analysons-la dans ses détails.

On voit d'abord que, dans le battage à la main, le battage proprement dit prend presque tout le temps, 0,502 sur 0,586, la préparation ne demandant que 0,073, et le reste du temps, 0,011, étant absorbé par des accidents divers tels que rupture de fleurets dans les trous et autres interruptions inévitables, mais heureusement sans importance.

Dans le battage à la machine au contraire, le battage proprement dit ne prend que la moitié du temps total nécessaire à l'ensemble du battage (0,281 sur 0,572), et encore je comprends dans le battage proprement dit différentes interruptions nécessitées par le graissage des appareils ou la réparation des petits désordres qui se produisent inévitablement dans le perforateur ou la conduite d'air. Ce sont là des temps perdus inhérents à l'emploi même des machines, et qui, par conséquent, doivent être considérés comme faisant partie du temps nécessaire au travail normal. On peut, il est vrai, les réduire à presque rien par des soins et surtout par une bonne construction d'appareils.

La préparation de la place des trous ne prend, comme dans le battage à la main, qu'une fraction insignifiante : 0,020.

L'autre moitié presque entière du temps affecté au battage, est prise par l'installation de l'affût, son calage, son décalage et l'orientation du perforateur. C'est donc l'affût qu'il faut perfectionner ou modifier même entièrement. Cette amélioration est d'autant plus nécessaire que les roches sont moins dures, car le peu de dureté relative des roches, enlevant déjà au perforateur quelques-uns de ses avantages, il ne faut pas que les autres soient annulés par le temps qu'on perd à l'installer.

SENS DANS LEQUEL L'AFFUT DOIT ÊTRE MODIFIÉ.

A mon avis, les modifications à apporter dans les dispositions de l'affût doivent être faites en partant de l'idée qu'au lieu de n'avoir sur lui qu'un seul perforateur, dont on puisse diriger le fleuret en tous sens, il faudrait qu'il portât en même temps plusieurs perforateurs, ne se prêtant chacun, dans leur orientation, qu'à des variations très-restreintes et par conséquent faciles à obtenir rapidement.

Je crois en même temps qu'il y aurait grand intérêt à donner à l'affût assez de poids pour rendre inutile son calage.

L'installation des perforateurs ne demanderait plus alors qu'un temps insignifiant, puisqu'on n'aurait plus qu'à avancer ou reculer l'affût avec tout ce qu'il porterait.

Il y aurait lieu aussi, si l'on entrait dans cette voie, de chercher à restreindre le nombre de trous à forer, en leur donnant une plus grande profondeur et en augmentant le rayon d'action de chacun d'eux par un tirage simultané.

TEMPS NÉCESSAIRE AU FORAGE D'UN MÈTRE DE TROU.

Comme moyen d'appréciation du travail des perforateurs comparé à celui de l'homme, j'ai réuni dans le tableau suivant la décomposition du temps nécessaire au forage d'un mètre de trou par les deux systèmes :

	FORAGE à la main.		FORAGE à la machine.	
Installation de l'affût.	....		9',70	37',30
Décalage. — Roulage. — Pose du bouclier.	....		8',40	
Orientation du perforateur.	....		19',20	
Préparation de la place des trous.	13',00	107',10	3',40	46',00
Graissage du perforateur.	"		0',90	
Battage.	92',00		39',00	
Accidents divers.	2',10		2',70	
Tirage à la poudre.	28',27	75',47	27',60	69',30
Enlèvement des déblais	35',10		28',50	
Pose de la voie.	3',80		6',30	
Repos.	8',30		6',90	
Manque de perforateur.	"		5',60	10',60
Manque d'air	"		5',00	
Total.	182',57		163',20	

Les groupements de chiffres que j'ai faits sur ce tableau mettent encore en évidence le temps excessif que prend l'installation de l'affût, et viennent, par suite, corroborer tout ce que j'ai dit précédemment de la nécessité de modifier complétement cette partie du travail.

Là est la condition absolue du succès des perforateurs dans les roches qui ne sont pas extrêmement dures. Ce qui est le cas presque constant des roches constitutives du terrain houiller.

OBSERVATIONS SUR LES OUTILS.

Avant de passer à l'établissement du prix de revient du travail fait pendant la première quinzaine de septembre, je crois utile de dire quelques mots de l'outillage et des ressources qu'il offre.

Les perforateurs eux-mêmes me semblent loin d'être parfaits; il y en a de meilleurs que je ferai connaître dans un prochain mémoire, et le type Sachs étant admis, les appareils employés à Sarrebruck doivent être préférés : l'expérience que je viens de rapporter m'a en effet convaincu des avantages que présentent les dispositions adoptées à Sarrebruck :

Pour l'écrou d'avancement;

Pour la fourchette de distribution;

Et pour le tiroir.

Voir dans la 3e livraison du tome XVII des *Annales* ces détails de construction.

Un défaut inhérent à toute machine fonctionnant à vitesse aussi grande que les perforateurs, est la fragilité.

Ces machines sont certainement très délicates : un travail relativement faible les met hors de service.

En moyenne, chaque perforateur n'a foré que 15m,096 de trou avant de rentrer aux ateliers ; le maximum foré

sans réparation, a été de $21^m,41$, le minimum ayant été de $8^m,37$.

D'autre part, les réparations qu'on a eu à faire n'ont coûté que $52^f,28$, pour $75^m,41$ de trous forés, ce qui porte à $0^f,692$ les frais d'entretien des perforateurs seuls par mètre de trous.

Les réparations principales ont porté sur les pièces suivantes :

Les calfats d'avant en bronze : ils ont dû être changés aux 4 perforateurs.

Les calfats, avec rainure de rotation d'arrière changés aux 4 appareils.

La traverse distributrice qui a été brisée sur 3 appareils.

L'axe distributeur, qui a dû être changé sur l'un des appareils et sur lequel on a dû fixer à nouveau, en remplaçant les goupilles par des cales, les cames commandant la rotation et l'avancement.

La tige du tiroir, dont l'une a dû être changée.

Le tiroir lui-même, qui, à chaque fois qu'un perforateur rentrait à l'atelier, devait être rodé sur sa glace.

Les doigts des rochets, dont l'extrémité a dû être rechargée d'acier.

Ces réparations, on le voit, sont nombreuses et délicates, mais il est juste de dire que les perforateurs dont nous avons fait usage étaient des appareils déjà vieux et mal construits ; on peut donc admettre que ces réparations seraient moindres dans des conditions normales.

Quant aux fleurets nous avons dû les modifier, comme je l'ai dit précédemment, pour les approprier aux roches tendres dans lesquelles nous travaillions : le diamant qu'à l'origine on avait fait lourd et à tranchant épais, a dû être rendu léger, très-dégagé et à tranchant mince.

De cette manière, la vidange du trou s'opère très-facilement pendant le forage même, sous la simple action de l'eau qu'on y injecte constamment.

En modifiant ainsi les outils, nous sommes arrivés à marcher sans devoir constamment frapper sur le fleuret avec un marteau à main pour le dégager, comme il fallait le faire avec les premiers fleurets. Mais il est incontestable que les grès tendres de Saint-Léonard sont, comme dureté, à la limite inférieure des roches dans lesquelles le perforateur peut fonctionner avec quelque avantage.

DES ROCHES QUI CONVIENNENT LE MIEUX AUX PERFORATEURS A CHOC. —RAISONS QUI DOIVENT FAIRE PRÉFÉRER CES APPAREILS AUX PERFORATEURS A ROTATION.

La condition essentielle pour un travail rapide et régulier, c'est que la roche, quelque dure qu'elle soit, se casse nettement sous le choc.

La houille, par exemple, est par sa fragilité très-propre à être perforée à la machine, tandis qu'au contraire les schistes tendres et mouillés s'y refusent presque complétement, et la raison en est facile à comprendre : le fleuret lancé avec force, au lieu de désagréger la roche au point où il frappe, comme il le fait dans des roches dures, pénètre profondément dans la roche et y reste engagé. C'est précisément ce qui arrivait à Saint-Léonard.

Pour empêcher cela il suffit d'étrangler l'admission d'air dans le cylindre, de manière à diminuer la force du coup et avec elle la pénétration du fleuret. Mais alors on réduit considérablement l'effet utile de la machine, à laquelle on ne fait plus exercer qu'un effort de très-peu supérieur à celui dont un homme est capable.

Pour empêcher cette trop profonde pénétration du fleuret sans réduire l'effet utile de la machine, on pourrait encore, en conservant le même effort, le répartir sur une plus grande surface en multipliant les tranchants : le diamant du fleuret, au lieu de ne présenter qu'un *z*, en présenterait plusieurs se coupant par le milieu; la

pénétration diminuerait précisément en proportion du nombre de tranchants, nombre qui devrait être d'autant plus grand que la roche serait plus tendre.

Un moyen plus radical, et généralement préférable au point de vue mécanique, serait de renoncer, dans les roches tendres, aux outils à percussion, pour prendre des outils à rotation. Ces appareils remplaçant l'action intermittente du choc par une action continue, travaillent, au point de vue mécanique, dans des conditions bien préférables, qui devraient les faire adopter toutes les fois que la nature spéciale de la roche n'oblige point à recourir aux effets désorganisateurs du choc.

Malheureusement les perforateurs à rotation ont l'immense inconvénient, quel que soit d'ailleurs le système employé, de ne pouvoir travailler avantageusement que dans les roches pour lesquelles ils ont été construits : en effet, si l'on prend un appareil à tarière fonctionnant comme le perforateur Lisbet, par exemple, on doit avoir des pas et des diamètres de tarière différents pour chaque espèce de roche, ces deux dimensions devant diminuer à mesure que croît la dureté, et encore sans qu'on puisse dépasser la dureté des grès, ainsi que le savent tous ceux qui se servent du perforateur Lisbet, excellent d'ailleurs dans les roches tendres. Si l'on emploie, au contraire, le perforateur Laroche-Taloz, appareil à bague diamantée détachant dans la roche un cylindre dont l'enlèvement produit le trou de mine, on ne peut travailler que dans les roches très-dures, compactes et à grain homogène, l'outil s'empâtant constamment dans les roches tendres, où il pénètre trop rapidement.

Si donc on employait des appareils à rotation dans le terrain houiller, on serait forcément conduit à changer d'appareil toutes les fois qu'on passerait, par exemple, d'un banc de schiste dans un banc de grès, ce qui serait inadmissible dans la pratique courante.

Il faut donc, malgré leurs inconvénients, s'en tenir aux

perforateurs à percussion, qui sont encore, de tous les appareils connus, ceux qui se prêtent le mieux à toutes les variations qui surviennent dans la dureté des roches.

La seule précaution à prendre, c'est, en ouvrant plus ou moins le robinet d'admission d'air, de régler la force du coup donné par l'appareil sur la dureté de la roche dans laquelle il bat. Cet étranglement de l'admission de l'air réduit immédiatement, il est vrai, l'effet utile de la machine, mais il reste encore assez supérieur à celui de l'homme pour que, malgré les frais de premier établissement, il y ait, pour un long travail, économie à employer, même dans les roches tendres, les perforateurs mécaniques.

Le meilleur que nous connaissions actuellement est celui que M. Sommeiller a fait pour le mont Cenis, et qui tout dernièrement a été transformé et simplifié de la manière la plus heureuse par MM. Dubois et François de Marihaye. Ces ingénieurs en ont fait un appareil excellent, parfaitement approprié aux mines, que je me propose de faire connaître dans un prochain mémoire, où je donnerai aussi quelques renseignements sommaires sur le percement du mont Cenis, de manière à compléter cette série d'études sur les moyens mécaniques employés au creusement des puits et des galeries au rocher.

PRIX DE REVIENT.

Reste maintenant à établir ce qu'ont coûté nos essais, et à en déduire, aussi exactement que faire se pourra, le prix de revient probable du mètre courant de galerie, en supposant une installation dans laquelle, tout en se servant du perforateur Sachs — que nous ne croyons pas pourtant à recommander — on mettrait à profit l'expérience acquise à Saint-Léonard.

Donnons d'abord le relevé complet des dépenses faites pendant la première quinzaine de septembre : cela nous per-

mettra d'arriver à un prix de revient brut que nous discuterons ensuite pour en déduire un prix normal.

Relevé des dépenses faites pour les perforateurs à air comprimé pendant la première quinzaine de septembre.

	francs.	francs.
Ajusteur allemand : 13 journées à 10 francs	130,00	230,71
Ajusteur de la compagnie : 12 journées, avec frais de déplacements	100,71	
Surveillance : 1 maître mineur, 12 journées à $3^f,20$	39,60	111,60
Surveillance : 2 élèves maîtres mineurs, 24 journées à 3 francs	72,00	
Mineurs — 6 hommes — 72 journées à 3 francs	216,00	284,00
Poudre : 580 cartouches à $0^f,10$	58,00	
Fusées : 100 mètres à $0^f,10$	10,00	
Transport des déblais dans les travaux	69,60	69,60
Service de la machine à comprimer l'air : 3 hommes — 36 journées à $2^f,10$	90,00	256,00
Charbon consommé : 150 hectolitres	150,00	
Huiles — graisses — étoupes	16,00	
Réparation de 4 perforateurs	52,28	77,52
Réparation des fleurets	22,32	
Remplacement d'une lance à eau	2,92	
Modification des anciens fleurets	29,10	184,67
36 fleurets neufs	141,30	
1 clef à rochet	5,00	
1 allonge en cuivre	9,27	
Total		1.214,10

Cette dépense brute de $1.214^f,10$ porterait à $173^f,44$ le prix du mètre courant de galerie d'une section de $2^m,00 \times 2^m,00$, c'est-à-dire qu'avec les perforateurs on aurait dépensé cinq fois plus qu'on ne dépenserait dans le travail à la main pour obtenir sensiblement le même avancement, et encore je ne fais pas entrer en compte l'intérêt du capital engagé.

Heureusement que cette somme de $1.214^f,10$ est très-exagérée : elle se trouve chargée de plusieurs dépenses véritablement extraordinaires, qui doivent être comptées comme dépenses de premier établissement.

En effet, il n'est pas juste de compter comme dépense courante :

1° L'ajusteur allemand, qui nous a appris à nous servir des perforateurs, pas plus que notre propre ajusteur, qui a formé nos ouvriers. C'est donc à déduire $230^f,70$.

2° La surveillance toute extraordinaire qui n'a été établie

que pour permettre de nous rendre compte minutieusement du travail, est aussi à déduire, soit 111f,60.

3° Les dépenses faites pour le transport des déblais dans les travaux, dépenses qui varient avec la disposition des travaux et le point où doivent être transportés les déblais, ne doivent pas être portés au compte de la perforation mécanique; soit donc encore à réduire 69f,60.

4° Il est évident enfin qu'il ne faut pas compter comme dépense courante la modification des fleurets primitifs, pas plus que la fourniture d'objets qui n'avaient jamais été fournis, soit donc une dernière réduction de 184f,67.

La réduction totale à faire sur les 1.214f,10 est donc de 596f,57, ce qui ne laisse qu'une dépense courante de 617f,52, portant le prix de revient du mètre courant de galerie à 88f,21.

D'autre part, ces réductions étant faites, il faut, pour être exact, ajouter à la somme réduite, l'intérêt du capital engagé. Or, je crois être très-près de la vérité en assignant pour dépenses de premier établissement d'une installation plus complète même que celle de Saint-Léonard, une somme de 30 000 francs (Voir le mémoire sur les perforateurs de la Vieille-Montagne, tome XX, 1re livraison), somme qu'on peut considérer comme correspondant à un intérêt de 104 francs par quinzaine. J'admettrai donc que, dans une installation de perforateurs mécaniques, on dépenserait par quinzaine 721f,52, mais on m'accordera aussi que dans des terrains plus durs que ceux de Saint-Léonard, et avec un nombre de perforateurs suffisant pour n'avoir jamais à perdre de temps ou à battre à la main, il serait facile de gagner 3 à 4 mètres d'avancement, sans augmenter notablement les dépenses ; celles dues aux réparations seraient en effet seules augmentées : on aurait ainsi une dépense totale de 721f,52, ou en supposant que les frais d'entretien des perforateurs doubleraient, de 770 francs par quinzaine pour un avancement de 10 mètres. C'est, comme l'on voit,

une dépense d'environ 75 francs par mètre, que je crois possible d'obtenir couramment avec les perforateurs Sachs. Ce serait là un prix très-rémunérateur dans un grand nombre de cas.

Mais, je le répète, le perforateur Sachs est loin d'être le meilleur, et avec les appareils que je ferai connaître dans un prochain mémoire, on obtient facilement, en même temps qu'un avancement plus rapide, un prix moins élevé par mètre.

Paris, 25 février 1872.

LÉGENDE DES FIGURES 3 A 12 DE LA PLANCHE IV.

Fig. 3. Machine à comprimer l'air. — Coupe longitudinale.
Fig. 4. Boisage recevant le bouclier.
Fig. 5. Bouclier.
Fig. 6. Installation de l'affût.
Fig. 7. Front d'attaque. — Disposition des trous.
Fig. 8. Disposition de la galerie. — Organisation des voies.
Fig. 9. Affût portant le perforateur. — Vue d'ensemble.
Fig. 10. Plan.
Fig. 11. Liaison du perforateur à l'affût. — Vue d'arrière et vue d'avant.
Fig. 12. Fleurets employés.

MÉMOIRE

SUR L'ALTÉRATION DES EAUX SULFUREUSES DES EAUX-BONNES AU CONTACT D'UN AIR LIMITÉ.

Par Louis MARTIN, ingénieur des mines.

L'un des problèmes essentiels de l'art de l'ingénieur appliqué à l'hydrologie consiste à amener les eaux minérales, et en particulier les eaux sulfureuses, sur le lieu d'emploi, sans qu'elles aient subi d'altération.

Quand l'eau est administrée en boisson, la solution est aisée; il suffit en effet de mettre l'eau à l'abri du contact de l'air et de s'opposer à son refroidissement : double but que l'on atteint d'ordinaire en plaçant la buvette au voisinage immédiat du griffon.

Mais il n'en est plus de même toutes les fois que l'eau est destinée à des emplois qui supposent l'existence d'un réservoir où elle puisse être accumulée en volume suffisant, c'est-à-dire toutes les fois qu'elle est administrée en bains ou en douches. On n'a point encore trouvé de moyen simple et pratique qui permette de soustraire l'eau au contact de l'air dans un réservoir qui doit être tour à tour plein et vide. Dans ces alternatives, l'eau sulfureuse subit nécessairement l'action de l'oxygène atmosphérique ; mais elle la subit dans des circonstances particulières, en ce sens qu'elle est en contact avec un air *limité*, c'est-à-dire avec un air qui ne se renouvelle point, ou qui du moins ne se renouvelle qu'avec lenteur et difficulté.

J'ai été frappé de voir en effet que, dans les réactions dont nos réservoirs sont le théâtre, comme dans plusieurs

expériences sur lesquelles l'attention a été récemment appelée, l'air *non renouvelé* paraît devenir rapidement inactif, lors même qu'il contient une proportion d'oxygène bien supérieure à celle que la théorie indique comme suffisante. Cette condition de non-renouvellement, qui est la définition d'une atmosphère limitée, a donc une importance plus grande qu'on n'aurait pu le soupçonner tout d'abord.

Ainsi, dans les réservoirs, l'eau est exposée à des altérations que l'on ne peut pas éviter. Dès lors se présente la nécessité de faire une étude minutieuse de ces altérations, afin d'arriver à une connaissance approfondie du médicament employé; car il diffère essentiellement, par sa constitution chimique, de l'eau prise à la buvette. Ce sont en effet les sels que la médecine considère comme les plus importants qui sont de préférence atteints par l'action altérante de l'atmosphère; les sels sulfureux, les sels à réaction alcaline, soit qu'ils appartiennent à la constitution primitive de l'eau minérale, soit qu'ils résultent de sa dégénérescence même, forment la partie altérable et mobile de la minéralisation. Et ne peut-on pas penser que cette altérabilité est précisément une des conditions de leur efficacité thérapeutique, parce qu'elle les adapte d'avance à l'action élective des organes?

L'étude des eaux sulfureuses modifiées par le contact de l'air est encore intéressante à un autre point de vue. En supposant que l'on imaginât un appareil qui permît d'emmagasiner l'eau à l'abri de l'oxygène, il est douteux que la médecine se félicitât de ce résultat, qui viendrait annuler toute sa tradition et jeter entre les mains du médecin un instrument nouveau, inconnu, dont les effets pourraient être très-différents de ceux qui ont été reconnus et étudiés jusqu'ici. C'est avec l'eau altérée des réservoirs que les bains des Eaux-Bonnes produisent des effets énergiques et profonds; ce mode de traitement a pris une importance toute nouvelle depuis que M. Pidoux a été appelé à l'in-

spection des Eaux-Bonnes ; est-ce au moment où de nombreuses et savantes observations ont fait connaître l'utilité et la puissance d'un médicament qu'il serait opportun d'en changer la nature, sous prétexte de faire mieux ?

Il faut signaler encore deux autres modes d'emploi des eaux sulfureuses qui peuvent donner lieu à des recherches au point de vue des altérations : je veux parler de l'eau embouteillée et de l'eau pulvérisée. L'étude des phénomènes de la pulvérisation est encore à faire, bien que des expériences récentes aient jeté un premier jour sur ces réactions, en montrant dans le principe sulfureux des eaux sulfuré-sodiques une stabilité inattendue. Quant à l'embouteillage, il donne lieu à une série de réactions hautement compliquées, et dont l'étude est rendue très-délicate par le faible volume sur lequel on est obligé d'opérer. Les expériences que j'ai entreprises à ce sujet ne sont point terminées, et je ne m'occuperai dans ce travail que des réservoirs et des bains.

Les résultats que j'ai obtenus sont, d'ailleurs, particuliers aux Eaux-Bonnes. Un jour sans doute, les eaux sulfureuses des Pyrénées seront classées en groupes naturels d'après le triple caractère de leur gisement géologique, de leur constitution chimique et de leurs propriétés médicales. Ces trois ordres de recherches devront concorder dans leurs résultats quand l'étude sera complète. Peu de travaux, il est vrai, ont été faits encore dans ce sens ; je crois être parvenu, avec mon ami M. Garrigou, à définir un de ces groupes au point de vue géologique, comme il l'était déjà au point de vue chimique (Ax, Luchon, etc) ; je pense aussi pouvoir démontrer plus tard que les Eaux-Bonnes formeront dans cette classification une sorte de *point singulier*, type unique pour le géologue, comme il l'est pour le chimiste et le médecin.

Cette étude, en quelque sorte différentielle, des types pyrénéens d'eaux sulfureuses est d'autant plus difficile que l'analyse semble au premier abord leur attribuer une com-

position chimique presque semblable. Toutes les sources contiennent à peu près les mêmes quantités totales de sels (*); ce sont les mêmes éléments qui y figurent, et dans des proportions peu variées. C'est dans le mode de groupement des sels que paraissent résider les distinctions. Ainsi M. Filhol a caractérisé au point de vue chimique les eaux de Luchon et celles d'Ax, en montrant que, bien que sulfuré-sodiques, elles contiennent de l'acide sulfhydrique libre; ainsi, l'alcalinité prononcée des eaux des Pyrénées-Orientales, l'alcalinité presque nulle des eaux de Luchon, Eaux-Bonnes, etc., sont comme le cachet d'une origine différente.

Les caractères distinctifs des Eaux-Bonnes paraissent être les suivants : 1° la coexistence, indiquée par M. Filhol, d'un peu de sulfure de calcium avec le sulfure de sodium; 2° la proportion élevée, typique, du chlorure de sodium et des sels de chaux; 3° l'absence de toute alcalinité, en dehors de celle qui est due au sulfure alcalin, toutes les fois que l'eau n'a pas subi le contact de l'air.

Mais l'idée générale qui devra présider à ces recherches comparatives, et retenir des conclusions précipitées, c'est que dans une eau minérale donnée, on ne doit point considérer isolément tel ou tel des sels contenus : ce n'est ni la nature individuelle des substances minéralisantes, ni leurs proportions absolues qui peuvent définir sa constitution, c'est leur ensemble. L'eau sulfureuse est un tout qu'il ne faut pas scinder, un agrégat qu'il faut étudier dans sa complication; c'est ce que l'éminent inspecteur des Eaux-Bonnes a énergiquement exprimé quelque part : « Les eaux minérales naturelles ont tous les caractères de liquides organisés et vivants: ce sont des médicaments animés (**). »

S'il en est ainsi, un des moyens les plus féconds pour la

(*) Les Eaux-Bonnes font pourtant exception à cause de la proportion anormale de chlorure de sodium qu'elles contiennent.

(**) Pidoux. *Principes de thérapeutique thermale. — Expérimentation des eaux minérales sur l'homme sain*, page 17.

distinction rationnelle de ces composés intéressants ne sera-t-il pas l'étude de leurs altérations sous l'influence d'agents modérés qui les modifient sans les détruire ? C'est ainsi que M. Berthelot a ouvert à la chimie organique des voies nouvelles, lorsqu'il a érigé en méthode l'emploi des décompositions mesurées ; c'est ainsi que des corps isomères trahissent leur constitution dissemblable par la dissimilitude de leurs produits d'altération. Sous ce rapport, la chimie hydrologique est sœur de la chimie organique ; et je suis convaincu que si l'on étudie les réactions secondaires qui se passent dans les autres eaux sulfureuses des Pyrénées, on trouvera des réactions très-distinctes de celles que je vais décrire pour les Eaux-Bonnes, et l'on aura ainsi une base rationnelle pour la différentiation des divers types.

Avant d'arriver aux résultats de mes recherches, il est nécessaire de bien poser le problème que j'avais à résoudre, et pour cela de rappeler ce que l'on savait déjà sur l'altération des eaux sulfureuses en général et le peu qui restait à faire pour définir le cas particulier des Eaux-Bonnes ; il est nécessaire, en outre, de donner des explications détaillées sur les méthodes que j'ai suivies, afin de justifier du degré d'approximation obtenu et de mesurer le degré de certitude des résultats. Mes conclusions ne sont point basées sur une réaction chimique nouvelle, mais sur un nouveau mode de discussion des analyses, appliqué à un grand nombre d'essais. — Quelques chimistes n'accueilleront pas sans prévention des résultats obtenus par les méthodes sulfhydrométriques ; M. Filhol, qui a le plus contribué à donner à ces méthodes la perfection dont elles sont susceptibles aujourd'hui, les considère comme un instrument dangereux entre les mains d'un chimiste inexpérimenté (*) ; j'entrerai donc dans des détails préliminaires qui pourraient, sans ces motifs, paraître minutieux.

(*) Filhol. *Recherches sur l'alcalinité comparée des eaux sulfureuses des Pyrénées*, page 4.

On admet généralement aujourd'hui que dans les eaux sulfuré-sodiques, le soufre existe à l'état de monosulfure de sodium. — C'est M. Filhol, dont le nom est inévitable en ces matières, qui a établi définitivement ce point fondamental dans ses *Recherches sur les eaux des Pyrénées*. Aux arguments décisifs qu'il a présentés, l'étude même des altérations des principes sulfureux pourra en ajouter un nouveau. Cependant l'acide sulfhydrique existe à l'état libre dans certaines eaux, telles que Luchon et Ax ; l'altération de ces eaux sulfureuses se fait suivant une loi différente.

Pour doser le monosulfure (ou l'acide sulfhydrique), on sait que Dupasquier avait proposé l'emploi d'une solution titrée d'iode dans l'alcool, le liquide à essayer, additionné d'un peu de colle d'amidon, ne prenant la coloration bleue permanente que lorsque le soufre a été déplacé par l'iode, équivalent pour équivalent. M. Filhol a montré que ce procédé offrait de nombreuses causes d'erreur, et lui a porté dernièrement un coup définitif en établissant qu'en présence des sels alcalins, l'iode réagissait sur l'alcool et donnait lieu à la formation d'une certaine quantité d'iodoforme. Il a remplacé la teinture alcoolique de Dupasquier par une solution aqueuse d'iodure de potassium, qui sert de véhicule à l'iode.

Avec le procédé ainsi modifié, et en employant une liqueur décime, on peut arriver à une sensibilité très-grande. J'ai recherché avec soin quel était le titre qu'il convenait d'adopter dans mes expériences. J'ai trouvé que les meilleures conditions étaient réunies lorsque la liqueur normale contenait 2 dixièmes de milligramme d'iode par division de la burette, et que l'on opérait sur un demi-litre d'eau sulfureuse. La liqueur est préparée en dissolvant 2 grammes à $2^{g},5$ d'iodure de potassium dans 50 ou 60 centimètres cubes d'eau ; après dissolution, on ajoute un gramme d'iode qui se dissout rapidement à froid ; puis on étend d'eau jusqu'à ce que le volume total soit de 500 cen-

timètres cubes. La burette est, d'ailleurs, graduée en dixièmes de centimètre cube.

Avec une liqueur plus concentrée, on a naturellement une sensibilité moindre ; avec une liqueur plus étendue, le moment de l'apparition du bleu permanent devient moins précis, et l'incertitude peut s'élever à deux ou trois divisions de la burette ; dès lors l'approximation reste la même. Quant au volume de la liqueur essayée, il importe de ne pas le prendre trop faible, parce que l'erreur de jaugeage devient relativement plus importante, ainsi que l'erreur de lecture ; mais, lorsque ce volume est supérieur à un demi-litre, j'ai observé que la durée plus longue de l'opération amenait une légère cause d'erreur par suite de l'action de l'air sur le liquide en expérience.

Pour obtenir des liqueurs titrées avec une grande exactitude, j'ai recours à un moyen détourné. La pesée de l'iode est difficile, à cause de sa volatilité et de son action rapide sur le papier et les métaux. De plus, l'iodure de potassium contient fréquemment un peu de potasse libre qui affaiblit le titre de la liqueur en absorbant de l'iode. Je me borne toujours à peser approximativement 1 gramme d'iode, et après avoir préparé la liqueur normale je me sers, pour en déterminer le titre exact, d'une dissolution d'hyposulfite de soude, qu'il est facile de titrer avec grande précision, en se servant d'hyposulfite bien cristalisé et bien pur ($NaO.S^2O^2 + 5HO$). Deux équivalents d'hyposulfite absorbent un équivalent d'iode. Je dirige, d'ailleurs, l'essai de manière à y employer 3 à 400 divisions de la burette, de sorte que l'erreur de lecture est annulée.

La liqueur normale ainsi préparée peut se conserver des mois entiers, dans des flacons bien bouchés, sans que le titre en soit altéré. Néanmoins, j'ai toujours eu le soin de vérifier le titre des liqueurs, toutes les fois que je m'en suis servi, qu'elles fussent ou non récemment préparées. Je ferai remarquer, d'ailleurs, que lors même que le titre absolu

de mes liqueurs n'eût pas été tout à fait exact, la loi à laquelle je suis parvenu n'en serait aucunement infirmée, comme on pourra s'en assurer ; il n'y figure que des rapports, et il suffit que chaque série d'essais ait été faite avec une seule liqueur, ce qui a toujours eu lieu.

Avec un peu d'habitude, on arrive très-bien à avoir toujours des essais concordants à une division près ; du reste j'ai répété au moins une fois chaque essai, et je n'ai admis comme exacts que ceux dans lesquels les deux épreuves s'accordaient à une division près.

Lorsqu'on opère sur du monosulfure de sodium, on arrive à une approximation très-grande. L'erreur étant au plus de $0^g,0002$ sur l'iode, est au plus de $0^g,000025$ ou $\frac{1}{40}$ de milligramme sur le soufre, puisque l'équivalent du soufre est à peu près huit fois moindre. Comme on opère sur un demi-litre, l'erreur par litre est inférieure au demi-dixième de milligramme. J'ai donc pu considérer comme exact le chiffre des dixièmes de milligramme, tout en indiquant, quand il y avait lieu, les demi-dixièmes.

Pour calculer la quantité de soufre équivalente à l'iode employé, il est commode, lorsqu'on a un grand nombre de transformations de ce genre à faire, de considérer le rapport des équivalents du soufre et de l'iode comme égal à $\frac{1}{8}$ au lieu de $\frac{200}{1586,5}$. Il est facile de s'assurer que le chiffre des dixièmes de milligramme n'en est pas affecté. Il suffit donc de diviser par 8 le poids de l'iode employé pour avoir le poids de soufre équivalent contenu à l'état de monosulfure.

Je n'insisterai pas, d'ailleurs, sur toutes les précautions à prendre pour l'essai en lui-même : opérer rapidement, éviter le *barbotement* de l'air dans l'eau pendant le jaugeage ; opérer toujours à la même température, et en général dans des conditions constamment identiques.

Réduite à ces termes, la sulfhydrométrie serait une méthode très-simple et très-rapide ; mais les monosulfures ne sont pas les seuls sels qui absorbent de l'iode avant que la coloration bleue de l'amidon ne devienne permanente. D'autres sels jouissent de cette propriété : ce sont les carbonates et silicates alcalins, les sulfites et hyposulfites ; en outre, les polysulfures, s'il en existe dans le liquide, donnent lieu à une erreur sur le calcul du soufre correspondant à l'iode employé. Or ces sels perturbateurs sont précisément ceux qui se produisent dans les altérations spontanées de l'eau minérale au contact de l'air ; il est donc important de rappeler les moyens de correction, qui sont dus à M. Filhol, puisque ces moyens de correction seront précisément mes moyens d'analyse.

Pour corriger l'erreur due au carbonate et au silicate de soude, après avoir fait un premier essai, on additionne de chlorure de baryum, en léger excès, un nouveau volume d'eau sulfureuse ; l'iode absorbé dans ce nouvel essai est absorbé seulement par les sels sulfureux.

Quant aux sulfites et hyposulfites, on détermine l'iode qu'ils absorbent en désulfurant une troisième prise d'essai avec un faible excès d'acétate de zinc. On filtre pour séparer le sulfure de zinc, les hydrosilicates et hydrocarbonates de zinc, et l'on n'a plus dans la liqueur que les sulfites et hyposulfites. La filtration est indispensable ; car le sulfure de zinc récemment précipité se comporte vis-à-vis de l'iode comme un sulfure soluble.

M. Filhol a montré que l'on pourrait désulfurer l'eau, complétement et en quelques instants à l'aide du sulfate de plomb. Cette réaction remarquable a été aussi utilisée dans mes recherches, mais le sulfate de plomb ne précipite pas les carbonates et silicates alcalins ; or, ceux-ci n'absorbant pas la même proportion d'iode, suivant qu'ils sont ou non en présence des sulfures alcalins (Filhol), les essais ne seraient plus comparables entre eux, si l'on ne joignait

l'emploi du chlorure de baryum à celui du sulfate de plomb.

En définitive, après avoir fait trois essais, on connaît :

1° L'iode absorbé par les silicates et carbonates ;

2° L'iode absorbé par les sulfites et hyposulfites ;

3° Par différence, l'iode absorbé par les sulfures et les polysulfures.

Telles sont les données de la sulfhydrométrie ; il s'agit de les discuter et de voir les conséquences que l'on en peut tirer.

Quand on opère sur un monosulfure, l'iode déplace le soufre équivalent pour équivalent :



$$NaS + I = NaI + S.$$

Mais quand la liqueur contient un polysulfure, la réaction se passe toujours contre un équivalent d'iode et un équivalent de sodium, et la proportion du soufre déplacé s'élève avec le degré du polysulfure (Filhol) :



$$NaS^n + I = NaI + S^n.$$

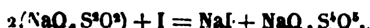
Ainsi, dans le cas d'un polysulfure de degré n, l'erreur commise en appliquant le calcul ordinaire serait de $n - 1$ équivalents de soufre, par équivalent d'iode employé ou de sodium. En d'autres termes, en divisant le poids d'iode équivalant à la quantité réelle de soufre contenue dans la liqueur (si l'on pouvait la connaître d'avance) par le poids d'iode réellement employé, on aurait le degré du polysulfure.

Avec les sulfites, la réaction est très-simple ; on sait qu'il se forme des acides sulfurique et iodhydrique. L'eau figure dans la réaction :



$$NaO, SO^2 + I + HO = NaO, SO^3 + HI.$$

En présence de l'hyposulfite de soude, il se forme du pentathionate :



$$2(NaO, S^2O^2) + I = NaI + NaO, S^4O^5.$$

J'ai vérifié bien des fois cette relation importante : elle montre, qu'à un seul équivalent d'iode absorbé, correspondent quatre équivalents de soufre à l'état d'hyposulfite. Il faut donc quatre fois plus d'iode pour la même quantité de soufre dans le cas du sulfite que dans le cas de l'hyposulfite.

Cela posé, si l'on savait d'avance que l'eau ne contient, parmi les sels appartenant à ces deux groupes : sulfites et hyposulfites d'une part, sulfures et hyposulfures de l'autre, qu'un sel unique pris dans chacun de ces groupes, on pourrait, des essais sulfhydrométriques, déduire aisément la nature et la proportion des principes sulfureux qui existent dans l'eau minérale altérée. Mais jusqu'à présent on n'a fait aucune recherche dans ce sens ; on s'est borné, soit à indiquer la quantité d'iode absorbée par chacun des groupes de sels, soit à calculer la quantité de monosulfure de sodium correspondante à l'indication de l'essai ; dans aucun cas on n'a pu arriver à la formule du polysulfure formé.

Le problème que je me suis posé était donc de rechercher si, dans le cas particulier des Eaux-Bonnes, on pouvait déterminer exactement la nature et la proportion des sels sulfureux contenus dans l'eau dégénérée. Je crois l'avoir résolu complétement, par la simple discussion d'un grand nombre d'analyses, sans autres données que celles des essais sulfhydrométriques comparées à la composition initiale de la source.

Ce n'est pas que je considère le problème du dosage direct de ces sels comme insoluble. Dès à présent, je puis indiquer la méthode que j'ai déjà tenté d'appliquer à cette

recherche, bien que mes expériences soient encore incomplètes. Cette méthode est basée sur la chlorométrie : mais c'est une tâche longue et difficile que de plier la chlorométrie aux exigences minutieuses d'une analyse qui porte, pour ainsi dire, sur des infiniment petits. Toutefois, ce n'est qu'une question de sensibilité; car on conçoit immédiatement que l'essai chlorométrique, combiné avec l'essai sulfhydrométrique, donnerait l'analyse complète d'un mélange de sulfites et d'hyposulfites; il en serait sans doute de même pour le mélange d'un sulfure et d'un polysulfure, car les quantités d'oxygène absorbées par ces différents sels sont inégales. La solution serait donnée par deux équations entre deux inconnues.

Quoi qu'il en soit, et tout en me réservant ce mode direct d'établir la formule de l'altération des eaux sulfureuses de Bonnes, je puis, dès à présent, établir suffisamment les propositions suivantes :

1° Il ne se dégage point de soufre à l'état d'acide sulfhydrique.

2° Tout le soufre du monosulfure de sodium passe, sous l'influence d'un air limité, à l'état du bisulfure de sodium et d'hyposulfite de soude.

3° Il ne se forme jamais de sulfite ni de polysulfure d'un degré plus élevé que le bisulfure.

Ces trois propositions sont contenues implicitement dans une seule formule, qui représente avec une exactitude absolue les résultats des nombreux essais auxquels je me suis livré.

Je mesure d'abord la sulfuration de la source, et je calcule la quantité de *soufre* contenu à l'état de sulfure de sodium; je le représente par S.

D'après l'iode absorbé par l'eau altérée, après désulfuration par l'acétate de zinc, je calcule la quantité de *soufre* correspondante et supposant qu'il soit *en totalité* à l'état

d'hyposulfite, c'est-à-dire, en supposant que l'eau ne renferme point de sulfite ; je la représente par σ.

Enfin, d'après l'iode absorbé par les sulfures seuls, je calcule le soufre correspondant comme s'il était à l'état de monosulfure : je représente le résultat par s, et j'appelle x le rapport qui existe entre les nombres d'équivalents de soufre et de sodium contenus dans les sulfures ; de telle sorte que sx représentera le poids réel de soufre contenu dans ces mêmes sulfures.

S'il est vrai qu'il ne se dégage point du soufre à l'état d'acide sulfhydrique, on aura :

$$\sigma + sx = S.$$

Or l'expérience donne invariablement $x = 2$, *quel que soit le degré d'altération* de l'eau considérée, c'est-à-dire quelle que soit la proportion relative d'hyposulfite et de polysulfures.

En d'autres termes, *la somme du soufre contenu à l'état d'hyposulfite, et du double du soufre indiqué pour les sulfures par l'essai sulfhydrométrique, reproduit constamment le soufre total de la source*, à un dixième de milligramme près.

Les réactions se passent donc comme si l'eau ne contenait qu'un mélange de bisulfure de sodium et d'hyposulfite de soude. Il est évident que ce résultat pourrait se produire fortuitement, lors même que telle ne serait pas la composition réelle de l'eau ; mais si cette loi se vérifie dans un grand nombre d'essais, et pour des proportions très-variées de bisulfure et d'hyposulfite, elle ne peut être que l'expression d'un fait chimique constant.

Il faut bien remarquer en effet que si l'eau renfermait une proportion quelconque de sulfite, la quantité d'iode absorbée par ce sel étant quatre fois plus élevée que celle qui correspond à l'hyposulfite, l'erreur venant de ce chef serait considérable ; la valeur attribuée à σ serait trop

forte ; on devrait donc retrouver une somme plus forte que le soufre total de la source, à moins qu'une partie du soufre ne se fût dégagée à l'état d'acide sulfhydrique. Or, on sait qu'il ne se dégage point d'acide sulfhydrique en proportion appréciable, sans quoi les réservoirs et les caniveaux contiendraient certainement des croûtes et des cristaux de soufre qui n'ont jamais été observés aux Eaux-Bonnes ; de plus, il faudrait admettre que cette compensation des deux erreurs a lieu quelles que soient les valeurs relatives de σ et de s, ce qui est contraire à toutes les lois de la probabilité (*).

Je n'ai pas l'intention de donner ici une énumération fastidieuse de résultats numériques ; mais je choisirai quelques exemples qui montreront comment cette loi se vérifie dans des conditions très-diverses. Je montrerai aussi comment j'ai pu, à l'aide de cette loi, déterminer la composition réelle d'un *bain préparé*, problème beaucoup plus difficile et en même temps plus utile pour le médecin.

Mais avant d'arriver aux chiffres, il est nécessaire de donner quelques indications sur les sources essayées et sur l'installation des réservoirs ; sans cela, l'intelligence des résultats resterait incomplète.

Mes expériences ont porté sur la *source Vieille* et sur la *source d'En-Bas*. La première, captée dans de bonnes conditions, alimente la célèbre buvette de l'établissement. Elle offre, au robinet, une composition sensiblement identique à celle qu'elle a à son griffon. La buvette est placée devant la source même, et n'en est guère séparée que par l'épais-

(*) On pourrait encore objecter que l'eau peut contenir un peu de sulfite, si l'on suppose une partie du soufre à l'état de monosulfure. Ce qui revient à diminuer la valeur de x; mais outre la supposition impossible de la compensation permanente des erreurs, cette objection mérite à peine qu'on s'y arrête ; car on ne peut raisonnablement admettre qu'une partie du soufre soit arrivée à un état d'oxydation aussi avancé, tandis qu'une autre partie reste sous la forme d'un sel éminemment oxydable.

seur des maçonneries. Une disposition assez simple empêche que l'eau ne séjourne même dans le tuyau qui réunit le griffon à la buvette: en ouvrant le robinet, on reçoit immédiatement l'eau courante.

L'eau de la source Vieille ne contient au griffon que du monosulfure de sodium, avec des traces de sulfure de calcium; elle ne renferme point de silicates ou de carbonates alcalins en proportion appréciable. A la buvette, on peut presque toujours, à l'aide des liqueurs décimes, déceler la présence de faibles quantités de silicate et d'hyposulfite de soude.

Le pétillement que l'on observe à la surface de l'eau au moment où l'on reçoit l'eau dans un verre est dû à un dégagement de gaz azote qui entraîne avec lui des traces d'acide sulfhydrique. Quelque minimes que soient ces traces, elles suffisent à communiquer à l'eau une odeur sulfureuse qui disparaît quand le pétillement a cessé. Les buveurs se figurent généralement qu'avec son odeur l'eau perd ses propriétés les plus essentielles, qu'elle est *évaporée*. Cependant l'analyse la plus minutieuse ne permet de reconnaître aucune différence entre les titres sulfhydrométriques pris avant et après le dégagement du gaz. Il est bien difficile de supposer qu'une quantité d'acide sulfhydrique inférieure à un quarantième de milligramme par litre ne soit pas sans influence.

La quantité de monosulfure par litre n'est pas tout à fait constante; elle offre de légères variations qui paraissent suivre le cours des saisons. Mes observations n'ont pas porté sur une période assez longue pour que je puisse leur assigner une loi. Les valeurs extrêmes que j'ai observées à la source Vieille, sont pour le soufre $0^g,0084$ et $0^g,0090$, soit pour le monosulfure de sodium $0^g,0205$ à $0^g,0219$. M. Filhol a adopté dans son analyse $0^g,0088$ de soufre et $0^g,0215$ pour le sulfure, ces chiffres représentent assez bien l'état moyen de la source. Les autres sources

des Eaux-Bonnes offrent des variations analogues : on sait, du reste, qu'elles ont toutes des sulfurations peu différentes. Les variations annuelles des sources sont simultanées.

La température oscille aussi légèrement suivant une période qui paraît annuelle. Les températures extrêmes que j'ai obtenues à la buvette (vu la difficulté matérielle de lire exactement une température au griffon) sont 30°,8 et 32°,4. Pendant la saison des eaux, la variation, bien que régulière, est extrêmement lente ; le maximum paraît correspondre aux mois de juillet et d'août. Aussi des observations faites pendant la saison sont-elles tout à fait insuffisantes pour reconnaître la loi du phénomène, et même pour le bien constater. Pour la sulfuration, au contraire, le maximum paraît tomber en hiver.

Je n'ai jamais pu observer aux Eaux-Bonnes de variations diverses, mais on peut se demander si les sources n'ont pas de variations à période plus longue que l'année, ou même non périodiques. Voici un fait qui pourrait le faire supposer. Bordeu, dans l'un de ses ouvrages (*), indique que la température des sources des Eaux-Bonnes, variait de son temps entre 90 et 102 degrés du thermoscope Fahrenheit On peut voir d'ailleurs, dans ses lettres à à madame de Sorberio (**), qu'il connaissait trois sources à Bonnes, *la Vieille*, *la Neuve* et celle *d'Orteix*. J'ai de bonnes raisons qu'il serait trop long de développer ici, pour penser que la source Vieille était alors (1746), comme aujourd'hui, la plus chaude. Elle serait descendue de 38°,9 à 32°.7 maximum actuel au griffon. Il y aurait donc eu en 117 ans une diminution de 6°,2 que l'on ne peut attribuer à une mauvaise graduation du thermomètre de Bordeu ;

(*) Bordeu. *Recherches sur les eaux minérales des Pyrénées*, page 22 (Pau, Vignancour, 1833.)

(**) Bordeu. *Lettres sur les eaux minérales du Béarn*. 8ᵉ lettre, même volume.

on sait d'ailleurs, à n'en pas douter, que les travaux de captage n'ont pas abaissé la température de la source.

Ce fait prend une importance plus grande, si l'on remarque que la même observation doit être faite aux Eaux-Chaudes, si voisines des Eaux-Bonnes. Bordeu indique pour les températures extrêmes 92 et 114 degrés. Le maximum était donc de 45°,5. Bordeu ne connaissait que les sources de l'Esquirette, du Rey et de l'Arressecq. Aujourd'hui la plus chaude des trois n'a que 34°,5 ; c'est donc une diminution de 11 degrés, c'est-à-dire plus considérable encore qu'aux Eaux-Bonnes.

Il serait évidemment inutile de rechercher en ce moment les causes de ces faits ; on ne sait même pas au juste s'il y a eu une diminution progressive, ou si elle s'est produite brusquement à la suite d'un phénomène accidentel. Cependant j'ai cru intéressant de la signaler.

L'eau de la source Vieille, qui alimente seule la buvette, est aussi la seule qui serve à l'embouteillage. L'excédant est déversé dans un réservoir de forme compliquée, qui reçoit en outre l'eau de quelques petits griffons dont la sulfuration est à peu près la même que celle de la source Vieille. Ce réservoir fournit l'eau aux *bains de gauche.*

La *source d'En Bas* a une température de 30 degrés, M. Filhol a adopté pour sa sulfuration les chiffres suivants : 0g,0068 soufre ou 0g,0165 sulfure de sodium. Mes essais m'ont donné des chiffres plus élevés. Elle est captée dans le mur même de son réservoir, où elle se déverse directement ; un second réservoir a été construit en 1862 à côté de l'ancien, dont le volume était insuffisant pour le débit de la source. Ces réservoirs fournissent l'eau aux bains de droite.

L'eau sulfureuse qui provient de ces réservoirs n'est pas assez chaude pour que l'on puisse s'y baigner. De tout temps, les bains ont été préparés à l'aide d'une addition d'eau sulfureuse artificiellement chauffée. A l'époque où

j'ai été appelé pour la première fois à m'occuper de cet établissement, on se servait, pour le chauffage des bains, de l'eau de la *source Supérieure* qui était reçue en pression dans une chaudière ouverte en cuivre et portée à la température de 80 à 90 degrés. L'eau ainsi chauffée était entièrement désulfurée ; elle entrait, d'ailleurs, pour un quart environ dans le volume du bain.

Aujourd'hui cet aménagement a été modifié. Mais le caractère essentiel du système, la désulfuration de l'eau, n'a point changé. On ne connaît aucun moyen d'empêcher ce résultat, lorsque de l'eau sulfureuse reçue dans un réservoir où elle dissout de l'oxygène, est ensuite portée à une température voisine de l'ébullition. Du reste, on n'a point cherché à l'éviter; on croyait devoir conserver au système son caractère, ses *altérations*, si je puis parler ainsi.

C'est la *source Froide* ou *source du Bois* qui fournit aujourd'hui l'eau destinée à chauffer les bains. La source supérieure a été déchargée, reçue dans un réservoir spécial, et dirigée sur les bains de gauche. Une simple conduite en fonte amène l'eau de la source froide dans une chaudière à double circulation, qui règle d'elle-même son alimentation, et distribue l'eau aux bains sous une forte pression. La destruction des sels sulfureux est complète, la composition des bains n'a été modifiée en rien par cette disposition nouvelle.

J'arrive enfin aux résultats numériques.

PREMIER CAS. — *Réservoir de la source Vieille* (15 juin 1863).

A. Essai de la source. — Température, 32°,1.

	grammes.
Sulfuration. Iode absorbé par litre.	0,0712
Correspondant à soufre. . . . . à l'état de monosulfure.	0,0089

B. Eau du réservoir prise au robinet de la baignoire n° 7 et à la température du 26 degrés, le réservoir étant seulement aux deux tiers plein.

	Iode absorbé par litre. grammes.
Essai sulfhydrométrique brut.	0,0375
— avec chlorure de baryum.	0,0332
— après désulfuration.	0,0024

D'où l'on conclut :

Iode absorbé par le silicate ou carbonate. .	0,0043
— par l'hyposulfite.	0,0024
— par les sulfures.	0,0308

Si l'on calcule le soufre correspondant à l'hyposulfite, on aura :

	grammes.	grammes.
Soufre à l'état d'hyposulfite.	0,0012	
Soufre équivalant à l'iode des sulfures.		0,0038.5
Double du chiffre précédent.	0,0077	
Somme.	0,0089	

C'est-à-dire qu'on retrouve exactement, comme je l'avais annoncé, le soufre total de la source.

DEUXIÈME CAS. — *Eau de la source d'En Bas* (11 juillet 1863).

L'eau a été prise sur le réservoir auxiliaire. La pierre du regard a été enlevée dans la journée, afin de provoquer une altération plus profonde. L'essai est fait à dix heures du soir, au robinet de la première baignoire, et sur l'eau à la température de 29 degrés, le réservoir étant à moitié plein. On a profité du moment où le réservoir ancien était à peu près vide pour faire l'essai de la source.

A. Essai de la source.

	grammes.
Iode absorbé par litre.	0,0700
Correspondant à soufre. . . . . à l'état de monosulfure.	0,0087.5

B. Eau du réservoir.

	Iode absorbé par litre. grammes.
Essai brut	0,0326
Essai avec chlorure de baryum	0,0250
Essai après désulfuration	0,0100

D'où l'on conclut :

Iode absorbé par les silicates, etc.	0,0076
— par l'hyposulfite	0,0100
— par les sulfures	0,0150

On en déduit les quantités de soufre suivantes :

	grammes.	grammes.
Soufre à l'état d'hyposulfite	0,0050	
Soufre équivalant à l'iode des sulfures		0,0018.5
Double du chiffre précédent	0,0037	
Somme	0,0087	

On retrouve donc encore le soufre total de la source, bien que les proportions relatives des deux sels soient très-différents. L'action oxydante a été plus profonde ; la formation de l'hyposulfite a été poussée beaucoup plus loin ; cependant la loi se vérifie avec la même exactitude.

TROISIÈME CAS. — *Bain préparé* (15 juin 1863).

Je vais montrer dans cet exemple l'application de la loi à la détermination de la formule réelle d'un bain.

Le 15 juin 1863, après avoir essayé l'eau du réservoir, comme je l'ai indiqué plus haut, j'ai fait préparer un bain avec cette eau, en ajoutant l'eau chaude suffisante. J'ai déterminé les volumes employés à l'aide des températures. L'eau chaude étant à 70 degrés seulement, l'eau du réservoir à 26 degrés, celle du bain après le mélange à 35° 1/2, on voit que le mélange contenait 1/4 eau chaude et 3/4 eau froide.

Les essais ont donné les résultats suivants :

	Iode absorbé par litre. grammes.
Essai brut.	0,0272
Essai avec chlorure de baryum.	0,0228
Essai après désulfuration.	0,0038

D'où l'on conclut :

Iode absorbé par les silicates et carbonates.	0,0044
— par l'hyposulfite.	0,0038
— par les sulfures.	0,0190

On aurait donc, par litre :

	grammes.	grammes.
Soufre à l'état d'hyposulfite.	0,0019	
Soufre équivalant à l'iode des sulfures.		0,8024

Or, en doublant ce dernier chiffre, on ne retrouve que 0,0067, au lieu de 0,0089 que contenait le litre d'eau prise à la source.

Mais si l'on se rappelle que l'eau chaude doit être considérée comme ayant perdu ses sels sulfureux, qui ont été ramenés à l'état de sulfates, on voit que les réactions sulfhydrométriques ne sont appliquées qu'aux 3/4 de litre provenant de l'eau à 26 degrés, et que le quart de litre à 70 degrés a dû rester inactif, sauf en ce qui concerne l'iode absorbé par les silicates et carbonates, qui, en effet, n'a pas varié. On ne doit donc retrouver que le soufre contenu dans 3/4 litre d'eau sulfureuse.

Or trois quarts de litre de l'eau du réservoir, d'après les chiffres mentionnés plus haut, contenaient :

	grammes.
Soufre à l'état d'hyposulfite.	0,0009
Soufre à l'état de bisulfure.	0,0058
Somme.	0,0067

Après le mélange, on a par litre :

	grammes.
Soufre à l'état d'hyposulfite.	0,0019
Soufre à l'état de bisulfure.	0,0048
Somme.	0,0067

La coïncidence remarquable de ces résultats montre à la fois que le quart de litre d'eau chaude était réellement désulfuré, et que le seul effet produit par l'échauffement sur l'eau du réservoir a été une nouvelle oxydation, c'est-à-dire le passage d'une nouvelle quantité de bisulfure à l'état d'hyposulfite.

On voit par cette analyse qu'en combinant des observations de température avec les indications ordinaires de la sulfhydrométrie, on peut déterminer la composition réelle du bain dans lequel on plonge les malades, ce que l'on ignorait tout à fait jusqu'à présent. On déduirait aisément des chiffres précédents que le bain contenait par litre $0^{gr},0074$ hyposulfite de soude cristalisé ($NaO, S^2O^2 + 5HO$) et $0^{gr},0082$ bisulfure de sodium; soit pour un bain de 300 litres $2^{gr},22$ hyposulfite et $2^{gr},46$ bisulfure. Telles sont les quantités pondérables qui produisent des effets énergiques.

QUATRIÈME CAS. — *Réservoir de la source Vieille* (29 avril 1863).

Je donnerai encore un exemple, qui me servira à montrer dans quelles limites se produisent les altérations à la buvette et aussi à donner l'idée du temps nécessaire à la désulfuration de l'eau des baignoires au contact de l'air.

A. Essai de la Buvette. — Température, 31°,5.

	Iode absorbé par litre. grammes.
Sulfuration. Essai avec chlorure de baryum.	0,0650
Essai après désulfuration.	0,0010

D'où l'on conclut :

	grammes
Soufre à l'état de monosulfure.	0,0080
Soufre à l'état d'hyposulfite.	0,0005
Somme.	0,0085

B. On a rempli de l'eau du réservoir la baignoire n° 8. On a obtenu les résultats suivants :

	Iode absorbé par litre. grammes.
Essai brut	0,0363
Essai avec chlorure de baryum	0,0310
Essai après désulfuration	0,0030

D'où l'on conclut :

	grammes.
Iode absorbé par les silicates	0,0053
— par l'hyposulfite	0,0030
— par les sulfures	0,0280

On a donc pour le soufre correspondant :

	grammes.
Soufre à l'état d'hyposulfite	0,0015
Soufre à l'état de bisulfure	0,0070
Somme	0,0085

J'ai abandonné pendant vingt-quatre heures l'eau de cette baignoire, le cabinet restant fermé. Au bout de ce temps, l'eau avait perdu la couleur verdâtre caractéristique des polysulfures ; elle était devenue opaline et présentait le phénomène du blanchiment.

L'essai brut a donné ;

	grammes.
Iode absorbé par litre	0,0056

Après désulfuration par le sulfate de plomb :

	grammes.
Iode absorbé par litre	0,0053

Cet essai m'a paru suffisant pour établir qu'il n'y avait plus de sulfures dans l'eau en proportion appréciable, mais seulement une certaine quantité d'hyposulfite.

Si quelque chose peut surprendre dans ces analyses, c'est l'exactitude même des vérifications. Il me paraît utile de revenir à ce sujet sur la question des approximations obtenues, que je n'ai traitée qu'à propos du monosulfure de sodium.

J'ai montré que la liqueur normale contenant $0^{gr},0002$ d'iode par division, donnait, dans le cas du monosulfure, une approximation de $0^{gr},000025$ sur l'essai, soit $0^{gr},00005$ par litre. Avec le bisulfure, comme on double le résultat obtenu, l'approximation serait seulement de $0^{gr},001$. Mais comme le bisulfure et l'hyposulfite sont beaucoup moins altérables que le monosulfure, on n'est plus obligé d'opérer avec la même rapidité, et l'on peut adopter un litre pour le volume de l'essai. On conserve ainsi l'approximation de 0,0005. Quant à l'essai après désulfuration, on peut le faire sur un volume quelconque ; je me suis en général servi du litre, quelquefois du demi-litre ; avec le litre on peut compter sur le chiffre des dixièmes de milligramme, et d'autant plus que la réaction avec l'hyposulfite est toujours d'une netteté plus grande qu'avec les sulfures ; on peut très-bien apprécier non-seulement une division, mais une demi-division, c'est-à-dire une goutte de la liqueur titrée.

L'exactitude des vérifications n'est donc pas fortuite ; elle n'est que la traduction d'une loi exacte. En outre, je rappellerai ici ce que j'avais annoncé d'avance, c'est que le titre absolu des liqueurs aurait pu être inexact sans que mes résultats en fussent affectés, puisque les quantités σ, s, S sont simplement proportionnelles aux volumes de liqueur titrée employés dans les différents essais, et que les poids absolus ne figurent pas dans l'équation qui les lie.

Il me reste maintenant à présenter quelques considérations générales sur la manière dont on doit concevoir la série des réactions qui se passent dans l'eau de Bonnes pendant sa décomposition au contact de l'oxygène.

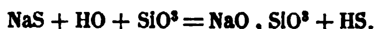
J'ai dit que l'eau sulfureuse, à son griffon, ne contenait que des traces minimes de silicate de soude ; mais elle contient de l'acide silicique libre. En arrivant dans le réservoir, au contact de l'air, elle subit une oxydation incomplète déterminée par l'affinité acide de la silice ; la moitié seulement du sodium est oxydée et donne du silicate de

soude; la proportion de soufre combinée au reste du sodium se trouve doublée, et il se forme du bisulfure de sodium :



$$2NaS + O + SiO^3 = NaO, SiO^3 + NaS^2.$$

Ainsi le bisulfure de sodium et le silicate de soude sont les premiers sels formés. Bien que la silice soit en excès, la réaction qu'elle produit n'est pas plus profonde, ce qui peut être attribué à la température modérée du réservoir. On sait, en effet, que dans les eaux très-chaudes et très-siliceuses, il y a décomposition de l'eau et formation d'acide sulfhydrique



$$NaS + HO + SiO^3 = NaO, SiO^3 + HS.$$

C'est cet acide sulfhydrique qui, en présence de l'air humide, se décompose et donne les cristallisations de soufre qui se déposent dans les conduites de Luchon et les réservoirs d'Ax.

La réaction est dans ce cas essentiellement différente de celle qui se passe aux Eaux-Bonnes. Je ne sais cependant s'il faut voir là seulement une différence de température. Est-ce fortuitement que la silice libre contenue dans l'eau se trouve précisément égale au double de la silice nécessaire pour former avec le sodium du sulfure un silicate neutre de soude? Il est facile de constater cette relation sur les chiffres de l'analyse de M. Filhol, que je reproduis en note à la fin du mémoire. Il en résulte que comme la réaction qui donne naissance au bisulfure est terminée, la soude formée et l'acide silicique constituent un silicate défini, dont la formule est $NaO,4SiO^3$. Il serait peut-être plus exact, par conséquent, de représenter la réaction par la formule suivante :



$$2NaS + O + 4SiO^3 = NaO, 4SiO^3 + NaS^2.$$

Peut-être est-ce la stabilité même de ce quadrisilicate, dont

les éléments se trouvent si singulièrement préparés, qui détermine la formule de la réaction. Il est vrai que d'après les chiffres des analyses, cette relation ne semblerait plus exister pour la source d'En-Bas, dont la sufuration est moindre. Mais on a vu, par les essais que j'ai cités plus haut, que sa sulfuration pouvait atteindre des valeurs très-voisines de celles de la source Vieille.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'il se forme du bisulfure de sodium et du silicate de soude. Je n'ai pu rechercher si l'eau altérée ne contenait pas du carbonate de soude, l'acide carbonique de l'air pouvant se substituer à l'acide silicique dans cette réaction. Je ne le pense pas, vu l'excès de silice contenu dans l'eau.

Cette première réaction paraît être assez rapide, car dans les réservoirs, j'ai toujours trouvé que le monosulfure avait entièrement disparu. Mais alors commence une seconde réaction, qui paraît plus lente et qui n'arrive jamais à être complète dans les réservoirs. Le bisulfure de sodium fixe de l'oxygène et se transforme en hyposulfite de soude



$$NaS^2 + 3O = NaO, S^2O^2.$$

Le volume d'air qui serait nécessaire pour la transformation de tout le sulfure de la source en silicate et hyposulfite est aisé à calculer. Il faut, en effet, quatre équivalents d'oxygène pour deux de soufre, c'est-à-dire un poids égal, l'équivalent du soufre étant double de celui de l'oxygène. C'est donc par litre $0^g,0088$ oxygène ou 6,43 centimètres cubes, correspondant à 30,9 centimètres cubes d'air. Ainsi pour 1 mètre cube, 31 litres d'air représentent un excès d'oxygène. La couche d'air qui est en contact avec l'eau des réservoirs offre toujours un volume relatif plus considérable, sans tenir compte de l'oxygène que l'eau a dû dissoudre pendant qu'elle déplaçait l'air de la capacité totale du réservoir. Malgré ce grand excès d'oxygène, l'altération n'est jamais très-profonde dans les réservoirs. C'est

ce fait qui m'a fait penser, comme je le disais au commencement de ce travail, que l'air non renouvelé devenait inactif au bout d'un certain temps, bien que l'oxygène y fût encore en excès.

Dans le service balnéaire des Eaux-Bonnes, les réactions se bornent donc aux deux phénomènes que je viens d'indiquer : 1° transformation de tout le monosulfure en bisulfure de sodium avec production de silicate de soude ; 2° fixation d'oxygène sur une partie du bisulfure qui se transforme en hyposulfite de soude.

Certains faits m'avaient aidé à prévoir, *à priori*, la série de ces réactions, et peuvent contribuer à les confirmer. La formation de l'hyposulfite de soude était un fait connu depuis longtemps. Or le bisulfure est le seul de tous les polysulfures qui puisse se transformer en hyposulfite de soude par simple fixation d'oxygène et sans dépôt de soufre libre. Peut-être la présence de polysulfures d'un degré supérieur au bisulfure figurera-t-elle un jour dans l'explication du phénomène du blanchîment, que présentent certaines eaux. Il était donc d'avance assez probable, que l'eau de Bonnes ne contenait qu'un bisulfure. M. Filhol, qui a bien voulu s'intéresser à mes recherches et en examiner les résultats, a appliqué aux eaux sulfureuses d'Olette le même mode de discussion des analyses. Il a trouvé des résultats semblables à ceux que m'avaient donnés les Eaux-Bonnes (*). Je suis fort porté à croire qu'il en sera de même pour toutes les eaux sulfuré-sodiques, qui ne dégagent point d'acide sulfhydrique, et où il se forme de l'hyposulfite.

Une autre indication pouvait être tirée des phénomènes qui se produisent pendant l'essai de l'eau sulfureuse prise au griffon ou à la buvette. Vers le milieu de l'essai, l'eau prend une coloration jaune verdâtre semblable à celle qu'elle

(*) Filhol. *Mémoires de l'Académie des sciences de Toulouse*, année 1863.

a dans les réservoirs et les baignoires. Cette coloration est maximum, lorsqu'on a employé la moitié de l'iode nécessaire, puis elle diminue et l'eau devient opaline, par suite de la précipitation du soufre. On peut rendre l'effet plus sensible en ajoutant immédiatement à l'eau la moitié de l'iode nécessaire pour la saturation ; on obtient une coloration jaune très-prononcée, et c'est seulement lorsque l'on continue à ajouter l'iode que le soufre se précipite. Ce fait indiquait bien nettement la tendance à former un bisulfure, lorsqu'une partie du soufre est progressivement mise en liberté ; que ce fût l'affinité de l'ode ou celle de l'oxygène, qui déterminât la séparation du sodium et du soufre, le résultat devait être le même.

J'ai insisté à plusieurs reprises sur ce point, que les réactions que je viens de décrire sont spéciales aux Eaux-Bonnes. Il me paraît intéressant de montrer maintenant comment les mêmes considérations, appliquées à d'autres stations thermales qui comportent le même mode de discussion, amèneraient à des résultats différents. En même temps ces remarques me fourniront l'occasion de signaler un fait curieux, qui est encore sans analogue dans l'histoire des eaux minérales.

Si l'on mène par les Eaux-Bonnes une parallèle à la direction générale de la chaîne des Pyrénées (*), on obtient un des alignements les plus intéressants de cette région. En effet, cette ligne remonte fidèlement la vallée profonde du Valentin, passe au col de Tortes, au pic de Gabisos (2.577 mètres), au pic du Midi d'Azun, au Monné ; de là elle aboutit à Cauterets, qu'elle atteint dans le massif montagneux, situé au N.-E. du village, c'est-à-dire, dans le quartier de Peyrante, où se trouvent les sources

(*) La ligne dont je m'occupe ici doit être menée suivant la direction O. 20 à 21° N ; elle s'écarte donc de 2 à 3 degrés seulement de la direction moyenne des couches pyrénéennes qui est à l'O. 18° N.

les plus sulfureuses de Cauterets (César, les Espagnols), puis elle va passer précisément sur les sources de Saint-Laurent, de là au sommet du Néonvielle (3,092), et enfin elle se termine au pied du massif de la Maladetta (*). Cette ligne coïncide ainsi, à très peu près, avec le cercle de comparaison provisoire du système de soulèvement des Pyrénées que M. Élie de Beaumont avait tracé par le sommet du pic de Néthou.

Les trois stations d'Eaux-Bonnes, Cauterets, Saint-Sauveur sont donc situées en ligne droite sur une parallèle à la chaîne ; or, elles présentent toutes trois un caractère chimique commun, qui ne se retrouve d'ailleurs dans aucune autre source sulfureuse des Pyrénées.

J'ai dit que l'eau de Bonnes (source Vieille, Orteix, etc.) contenait de l'acide silicique en proportion atomique définie, par rapport au sulfure de sodium, de telle sorte que pour un équivalent de sulfure contenu, il y avait deux équivalents de silice. Cette relation imprévue se retrouve dans les eaux de Saint-Sauveur et dans les eaux de Cauterets (César, les Espagnols).

	SULFURE de sodium.		SILICE.		RAPPORT des nombres d'équivalents.	AUTEURS des analyses.
	Grammes.	Équivalent.	Grammes.	Équivalent.		
Eaux-Bonnes, Source Vieille. . .	0,0214	0,440	0,0500	0,881	2,000	Filhol.
Orteix.	0,0215	0,441	0,0500	0,881	2,000	Idem.
Saint-Sauveur, Source des Bains.	0,0218	0,447	0,0507	0,891	2,000	Idem.
Cauterets, César.	0,0239	0,491	0 0588	1,024	2,085	Filhol et Réveil.
Les Espagnols. . .	0,0231	0,474	0,0568	1,000	2,109	Idem.

Pour Cauterets, le rapport est même plus voisin du nombre 2 dans la réalité que dans ce tableau : car les au-

(*) En outre, cette ligne passe exactement sur la source sulfuré-sodique de Frameraygues, dont il n'existe malheureusement qu'une analyse peu digne de confiance.

teurs des analyses ont trouvé au griffon des traces d'hyposulfite, qui indiquent la destruction d'une petite quantité de sulfure de sodium ; le chiffre donné pour celui-ci est donc un peu faible. Mais il ne faut pas chercher à appliquer le même calcul aux autres eaux de Cauterets, dont le principe sulfureux a subi des modifications évidentes au voisinage de l'émergence. Ces considérations théoriques ne peuvent s'appliquer qu'aux sources *les plus sulfureuses* de chaque groupe, qui sont, pour ainsi dire, les seules *intactes*.

Ce rapport fixe entre deux éléments, qui sembleraient devoir être indépendants l'un de l'autre, est d'ailleurs spécial aux trois stations que je viens de citer. J'ai dressé un tableau où j'ai fait figurer, calculés en équivalents, le sulfure de sodium et la silice de toutes les sources des Pyrénées analysées jusqu'à présent ; j'ai toujours trouvé le rapport des équivalents inférieur à 1 ou supérieur à 3. Barzun seul, qui a d'ailleurs des affinités marquées avec Saint-Sauveur, approche davantage ; mais le rapport, d'après l'analyse de MM. Boullay et Henry, reste inférieur à 1,64.

Je remarquerai en passant que ce rapport est seulement égal à deux tiers dans les eaux les plus sulfureuses de Luchon, que l'on est habitué à considérer comme très-siliceuses. Ceci montre bien que la production d'acide sulfhydrique libre n'est pas due uniquement à un excès de silice puisque les Eaux-Bonnes, où il ne s'en produit point, sont, proportionnellement à la sulfuration, trois fois plus siliceuses que les eaux de Bayeu ou de Bordeu, à Luchon. Il ne paraît pas non plus que la température puisse suffire à expliquer le phénomène, puisqu'on a à Cauterets des températures de 60 degrés. Je pense que l'absence d'acide sulfhydrique libre se rattache essentiellement à *certaines relations atomiques* que l'on n'a point encore réussi à mettre en évidence dans la constitution des eaux sulfureuses.

J'arrive à l'examen de l'action de l'air limité sur les eaux de Cauterets et de Saint-Sauveur. Il faut faire tout d'abord une remarque essentielle ; c'est que la silice, dans l'eau de Bonnes, est à l'état *libre*, tandis que dans les eaux de Cauterets et de Saint-Sauveur, elle est entièrement à l'état de silicates, comme l'a démontré M. Filhol. Dès lors la réaction principale qui se passait aux Eaux-Bonnes ne peut plus avoir lieu ; la silice, engagée dans des *silicates neutres*, n'a plus d'affinité acide qui détermine la formation du bisulfure de sodium. Mais l'acide carbonique de l'air est apte, comme on sait, à jouer le même rôle ; il déterminera, en effet, la formation de carbonate de soude et de bisulfure de sodium. Mais comme il est dans l'air en proportion minime, l'eau ne pourra le soutirer que peu à peu de l'atmosphère : au lieu d'une transformation rapide, simultanée, de la masse du monosulfure en bisulfure, il y aura transformation lente et progressive ; et comme l'oxygène sera toujours en grand excès par rapport à l'acide carbonique, ce bisulfure, au fur et à mesure de sa production, se transformera en hyposulfite, de sorte que l'eau des réservoirs, examinée à un moment quelconque, devra fournir un mélange de monosulfure et d'hyposulfite, représentant tout le soufre de la source.

J'aurais désiré vérifier ces déductions théoriques par une série d'expériences ; je n'en ai pas eu l'occasion. Mais je puis faire cette vérification sur les résultats d'analyses publiés en 1861, par MM. Filhol et Réveil. La concordance des faits avec la théorie sera d'autant plus probante que les observateurs ne pourront être soupçonnés d'idée préconçue. Je prends donc les chiffres indiqués par ces deux chimistes, et je les traduis :

A. Source de César (Essais de 1859).

	grammes.	grammes.
A la buvette. Sulfure de sodium.	0,0235	
Soit soufre.		0,0096

	Établissement d'En haut, baignoire n° 5.	Établissement d'En bas, baignoire.
	Iode absorbé par litre.	
	grammes.	grammes.
Essai brut	0,0460	0,0450
Essai avec chlorure de baryum	0,0410	0,0400
Essai après désulfuration	0,0120	0,0120

D'où l'on conclut :

Iode absorbé par les silicates et carbonates	0,0050	0,0050
— par l'hyposulfite	0,0120	0,0120
— par le sulfure	0,0290	0,0280

Et par conséquent :

	grammes.	grammes.
Soufre à l'état d'hyposulfite	0,0060	0,0060
Soufre à l'état de monosulfure	0,0036	0,0035
Total	0,0096	0,0095

On retrouve donc, comme cela devait être, la totalité du soufre contenu à l'état de sulfure au griffon.

B. Source des Espagnols.

	grammes.	grammes.
Sulfure de sodium au griffon	0,0231	
Soit soufre		0,0095

	Baignoire.	Salle de pulvérisation (eau non pulvérisée).
	grammes.	grammes.
Essai brut	0,0480	0,0640
Essai avec chlorure de baryum	0,0400	0,0620
Essai après désulfuration	0,0120	0,0050

D'où l'on conclut :

Iode absorbé par les silicates et carbonates	0,0080	0,0020
— par l'hyposulfite	0,0120	0,0050
— par le sulfure	0,0280	0,0570

Et par conséquent :

	grammes.	grammes.
Soufre à l'état d'hyposulfite.	0,0060	0,0025
Soufre à l'état de monosulfure.	0,0035	0,0071
Total.	0,0095	0,0096

On voit avec quelle exactitude la vérification se fait encore. Elle est d'autant plus intéressante dans ce cas-ci, que l'on a affaire à deux états de l'eau aussi différents que possible, l'oxydation étant, dans un cas, bien plus profonde que dans l'autre.

Ainsi, les résultats de l'action oxydante, bien différents à Cauterets de ce qu'ils sont aux Eaux-Bonnes, n'en sont pas moins bien définis et susceptibles d'être interprétés avec netteté. Il serait à désirer cependant que quelques expériences fussent faites dans le but de vérifier définitivement cette loi importante. En attendant, les résultats que je viens d'indiquer me paraissent fournir un argument puissant en faveur des vues de M. Filhol, sur l'état de la silice aux Eaux-Bonnes ou à Cauterets. Pour les eaux de Saint-Sauveur, je n'ai malheureusement aucune donnée ; mais je suis très-porté à croire que les phénomènes s'y passeront comme à Cauterets.

Je résumerai comme il suit les résultats que je crois avoir établis dans ce travail :

1° L'eau sulfureuse des Eaux-Bonnes, admise dans les réservoirs au contact d'un air limité, y subit deux réactions successives. La première consiste dans la transformation rapide du monosulfure de sodium en bisulfure avec production équivalente de silicate de soude. La seconde est la transformation lente et progressive, toujours partielle, du bisulfure de sodium en hyposulfite de soude, par simple fixation d'oxygène.

2° L'eau des réservoirs contient constamment tout le soufre de la source à l'état de bisulfure et d'hyposulfite. Il ne se

dégage point acide sulhydrique; il se ne forme ni sulfites, ni polysulfures d'un degré plus élevé que le bisulfure.

3° La préparation des bains, par addition d'eau sulfureuse artificiellement chauffée et désulfurée, n'a d'autre résultat que de provoquer une oxydation plus profonde, c'est-à-dire de faire passer à l'état d'hyposulfite une nouvelle proportion de bisulfure de sodium. On peut toujours, en s'aidant de simples observations thermométriques, déterminer à l'aide de la sulfhydrométrie, la composition réelle du bain, c'est-à-dire les poids de bisulfure et d'hyposulfite qu'il contient. Le bain exposé à l'air s'altère d'ailleurs plus rapidement que l'eau des réservoirs; les sels sulfureux passent progressivement à l'état de bisulfate de soude; il est entièrement désulfuré au bout de vingt-quatre heures.

4° Les sources des Eaux-Bonnes présentent cette particularité singulière que la silice y existe en proportion définie par rapport au sulfure de sodium, à savoir deux équivalents de silice pour un équivalent de sulfure. Ainsi le silicate qui se forme par l'altération est un quadrisilicate.

5° Deux autres stations des Pyrénées présentent la même relation : ce sont Saint-Sauveur et Cauterets (César, les Espagnols).

Ce fait se rattache sans doute à une cause géologique, car les trois établissements sont placés en ligne droite sur une parallèle à l'axe de soulèvement des Pyrénées, parallèle très-remarquable, d'ailleurs, par son parcours orographique. Seulement, tandis que la silice se trouve à l'état libre dans l'eau des Bonnes, on sait qu'elle est à l'état de silicates dans les eaux de Saint-Sauveur et de Cauterets.

6° A cette différence d'état chimique se rattache une différence essentielle dans le mode d'altération au contact d'un air limité. En discutant les résultats d'analyse de MM. Filhol et Réveil, on peut s'assurer que l'eau des réservoirs contient un mélange de *monosulfure* et d'hyposulfite

de soude, représentant le soufre total du griffon. C'est précisément ce que la théorie faisait prévoir.

On voit par là combien la composition des bains sulfureux est différente à Cauterets ou aux Eaux-Bonnes, bien qu'ils soient préparés avec des eaux qui contiennent des quantités de sulfure de sodium peu différentes.

Le mémoire qu'on vient de lire avait été rédigé par M. l'ingénieur MARTIN *très-peu de temps avant sa mort; il était écrit tout entier de sa main, et les* ANNALES DES MINES *l'ont reproduit textuellement.*

MÉMOIRE

SUR UNE APPLICATION DU SYSTÈME BOCHKOLTZ FAITE A LA MACHINE D'EXHAURE DE LA FOSSE N° 4 DU NORD DE CHARLEROI.

Par M. A. PERNOLET, ancien élève de l'École des mines de Paris.

I.— Considérations générales sur les machines d'épuisement. — Influence des clapets de pompe sur le rendement de ces machines. — Moyen d'améliorer les conditions actuelles de leur marche.

Déperdition de travail moteur inévitable dans les machines d'épuisement actuelles. — Les machines d'épuisement les plus répandues dans les mines sont des machines à simple effet, dans lesquelles la vapeur soulève une maîtresse-tige à laquelle sont attelées des pompes en nombre variable. Ces pompes sont ou aspirantes et foulantes, ou aspirantes et soulevantes.

Mais, le plus généralement et pour des raisons qui sont familières à tous les ingénieurs des mines, les pompes des grands épuisements sont des pompes foulantes, à piston plongeur, échelonnées sur toute la hauteur du puits de manière à n'avoir chacune d'elles qu'un refoulement de 75 à 90 mètres au plus; la dernière pompe seule est aspirante et soulevante.

Dans ces conditions, qui se trouvent réalisées par les machines du Cornouailles, — les plus parfaites du genres, — on donne à la maîtresse-tige un poids au moins suffisant pour qu'une fois soulevée par la vapeur et abandonnée à elle-même, elle puisse, par son seul poids, déterminer le refou-

lement de l'eau dans toute la série des pompes foulantes.

Le poids de la maîtresse-tige est donc l'élément le plus important à considérer dans ces machines ; c'est lui qui caractérise leur puissance ; c'est lui qui devant être soulevé par la machine, à chaque levée, de toute la course des pompes, détermine la force motrice et par conséquent la dépense de vapeur nécessaire à la marche de la machine.

Or, dans toutes les machines ordinaires, ce poids est, *toujours* et *nécessairement*, supérieur au poids qui, par sa descente, suffirait à la production du travail mécanique réellement employé pour élever l'eau. *Il y a donc, dans toutes les machines d'épuisement actuelles, une déperdition notable de travail moteur due à un excès de poids de la maîtresse tige.* Cette déperdition est telle que le *rendement* des machines d'épuisement, c'ést-à-dire le rapport du travail utile réalisé (mesuré par le poids de l'eau réellement élevé de la hauteur de l'épuisement), au travail produit par la vapeur pendant un temps donné, ne dépasse guère 60 à 65 p. 100 pour les meilleures machines.

Les deux tiers de cette perte d'effet utile sont, comme je vais le montrer, dus à l'excès de poids des tiges.

Cause principale de cette déperdition. — Cet excès de poids de la maîtresse-tige, qui représente couramment 20 à 30 p. 100 du poids de l'eau refoulée, est nécessaire, au commencement de la course descendante, pour déterminer l'ouverture des clapets. En effet, quelle que soit la forme du clapet employé, il faut, pour déterminer son ouverture, lorsqu'il est chargé d'une certaine hauteur d'eau sur sa face supérieure, produire au-dessous de lui une pression supérieure à la pression totale qui l'applique sur son siége. Or, la pression qui le maintient sur son siége, c'est le poids d'une colonne d'eau ayant pour hauteur la hauteur du refoulement augmentée de 10^{m},330, — hauteur d'eau représentant l'influence de l'atmosphère, — et pour base la sur-

face supérieure du clapet, plus le poids propre de celui-ci ; tandis que la pression qui tend à soulever le clapet, c'est la pression exercée par l'eau contenue dans le corps de pompe, sous l'action de la maîtresse-tige, *sur une surface qui est nécessairement plus petite que la surface supérieure du clapet, de tout le recouvrement.* De cette inégalité des deux surfaces, il résulte que : pour qu'il y ait équilibre, et à plus forte raison prédominance de la pression inférieure sur la pression supérieure, il faut que la première pression surpasse la seconde d'une quantité inversement proportionnelle aux deux surfaces inférieure et supérieure du clapet.

Force nécessaire à l'ouverture des clapets. — Le rapport de ces deux surfaces n'est pas toujours le même : il varie avec la disposition des clapets et les habitudes des constructeurs. Le plus généralement il est compris entre 1 : 1,25 et 1 : 1,50. Dans la machine si soignée du Grand-Hornu, — dont la description détaillée se trouve dans le portefeuille de John Cokerill, — il est de 1 à 1,39 ; et dans les soupapes à double siége comme celles qu'on a adoptées pour la machine du Bleiberg décrite dans le même portefeuille de John Cokerill, il est de 1 à 1,80.

On voit donc que : *par le fait seul du mode de construction des clapets, l'excès de pression à développer en dessous d'eux pour déterminer leur ouverture, pourrait représenter 25 à* 80 p. 100 *du poids de la colonne d'eau refoulée.* Mais pratiquement ce rapport se trouve réduit très-notablement par suite de l'application incomplète des clapets sur leur siége et de l'arrondi des angles tant des clapets que du siége.

En fait, cet excès de pression — mesuré au moyen de diagrammes pris avec un indicateur de Watt établi sur la chapelle des pompes au-dessous du clapet de refoulement et au-dessus du clapet d'aspiration, — représente 20 à 30 p. 100 de la pression moyenne due à la hauteur d'eau refoulée, pression qui s'établit immédiatement après l'ouverture des clapets.

Diagrammes de pompes foulantes permettant de mesurer l'excès de pression nécessaire à l'ouverture des clapets. — Le premier diagramme de pompes qui ait été pris pour constater cette augmentation momentanée de la pression, l'a été par M. Kraft, l'ingénieur directeur des ateliers de construction de la Société Cokerill, à Seraing, dont l'attention avait été attirée sur ce point par la note que M. Bochkoltz avait publiée dans la *Revue universelle des mines* sur son « Régénérateur de Force » en 1868.

Le diagramme qu'il obtint, et que malheureusement je n'ai pas pu me procurer, était de la forme indiquée par la *fig.* 1 de la Pl. V, — forme dont il importe de se rendre minutieusement compte ; pour cela analysons ce qui se passe pendant une excursion double :

1° Dès que le piston à vapeur et par conséquent le piston plongeur du jeu considéré (si, pour plus de simplicité, nous supposons une machine à traction directe), est arrivé au haut de sa course, le clapet d'aspiration se ferme, il y a temps d'arrêt et la pression de l'eau dans la chapelle qui était mesurée par — h' pendant l'aspiration, devient égale à la pression atmosphérique.

2° La soupape d'équilibre s'ouvre, et, par suite de la communication établie ainsi entre les deux faces du piston, la vapeur abandonne de plus en plus à elle-même la maîtresse-tige, qui, sans descendre, pèse de plus en plus sur l'eau du corps de pompe. Le crayon de l'indicateur monte de plus en plus sous l'influence de cette pression croissante, qui, à son maximum, est mesurée par $+ h$.

3° Quand la pression exercée par la maîtresse-tige est devenue suffisante pour équilibrer la pression agissant sur le clapet de refoulement, celui-ci s'ouvre et la pression indiquée par le diagramme tombe immédiatement de $+ h$ à $+ h_1$, qui mesure exactement la pression due à la hauteur réelle de la colonne de refoulement.

4° A cet instant, la maîtresse-tige commence à descendre,

et le piston refoule l'eau dont la pression croît avec la hauteur dont s'élève son niveau dans la colonne montante. A la fin de la course, cette pression est mesurée par $+ h_2 > + h_1$.

5° Il y a temps d'arrêt. Le clapet de refoulement se ferme et la pression de l'eau dans la chapelle tombe de $+ h_2$ à la pression atmosphérique.

6° La soupape d'admission s'ouvre, et la maîtresse-tige étant déchargée par l'action de la vapeur agissant sous le piston, de tout le poids qui fait équilibre à la pression atmosphérique diminuée de la hauteur de la colonne d'aspiration, le crayon de l'indicateur descend de $- h'_1$.

7° La vapeur continuant à affluer, la pression exercée par la maîtresse-tige continue à diminuer, et finit par devenir inférieure à la pression atmosphérique diminuée de la hauteur d'aspiration, d'une quantité suffisante pour que celle-ci soulève le clapet d'aspiration. A cet instant, la pression de l'eau est mesurée par $- h'_2$.

8° L'aspiration une fois commencée, la maîtresse-tige monte et la pression négative, — qui avait dû croître jusqu'à $- h'_2$ pour arracher le clapet de dessus son siége, — retombe à $- h'_1$ et décroit jusqu'à devenir $- h'$, c'est-à-dire égale à la pression exercée par l'atmosphère diminuée de la hauteur de la colonne d'aspiration qui croît du commencement à la fin de l'ascension. En réalité, le diagramme donne $- h' = - h'_1$ parce que l'indicateur, au lieu de suivre le mouvement ascendant du piston, reste toujours à la même hauteur au-dessus du niveau de l'eau, ce qui produit le même effet que si la hauteur de la colonne d'aspiration restait constante.

9° L'aspiration achevée, il y a temps d'arrêt, le clapet d'aspiration se ferme, et la pression de l'eau dans la chapelle remonte de $- h'$ à la pression atmosphérique.

L'excès de pression à produire pour ouvrir les clapets est mesuré par $h - h_m$ ou $- [h'_2 - h'_m]$, h_m et h'_m étant

la pression moyenne au-dessus ou au-dessous de l'atmosphère calculée d'après le diagramme en se servant de la formule de Thomas Simpson.

Dans le cas considéré par M. Kraft, le rapport de $h : h_m$ a été trouvé égal à 1.222 : 1. C'est-à-dire que, dans ce cas, l'excès de poids que la tige devait avoir par rapport au poids des colonnes d'eau refoulées représentait 22 p. 100 de ce poids.

Un diagramme pris sur la pompe foulante n° 5 du puits Kubeck à Kladno (Bohême), — diagramme que je reproduis [*fig.* 2 de la Pl. V], — a donné pour ce rapport : 1.207 : 1.

Le diagramme représenté par la *fig.* 3 de la Pl. V, — pris sur la même pompe foulante n° 5 du même puits, — un jour que le clapet gripait, montre quel excès de résistance peut créér à la levée du clapet tout désordre de cet organe si délicat des pompes. Je donne ce diagramme, bien que tout à fait accidentel, parce qu'il met en évidence d'une manière exagérée, mais frappante, l'importance du phénomène signalé par M. Bochkoltz.

Conséquences pratiques de l'excès de poids des tiges. — Ainsi donc, les considérations précédentes sur lesquelles M. Bochkoltz a, le premier, appelé l'attention, montrent d'une manière incontestable que, comme la descente des pistons de pompe n'a lieu que sous l'influence du poids de la maîtresse tige, l'excès de pression nécessaire à l'ouverture des clapets de pompes foulantes et de pompes soulevantes (*), ne peut être produit que par un excès de poids

(*) Je réunis ici les clapets de soulevantes aux clapets de foulantes, parce que les mêmes effets se reproduisent identiquement dans les deux espèces de pompes. Si, en effet, on considère un piston de soulevante au moment où il va descendre, on voit que, pour déterminer l'ouverture des clapets qu'il porte, il faut produire sur l'eau qui est au-dessous de lui une augmentation de pression telle qu'elle soit dans le rapport inverse des surfaces inférieure et supérieure du clapet.

Pour les clapets d'aspirantes, le phénomène est analogue, mais

de celui-ci qui représente environ le quart du poids d'eau à refouler ou à soulever. On voit d'ailleurs que cet excès de poids n'est nécessaire qu'au commencement de la course, pendant les quelques instants qui précèdent la descente, pour déterminer la mise en marche. Or, comme, avec les dispositions actuellement usitées, cet excès de poids doit être donné d'une manière permanente à la maîtresse-tige qui le conserve forcément, même après que son rôle a cessé d'être utile, sans qu'on puisse l'équilibrer par les balanciers ordinaires ou leur équivalent, il en résulte que, pendant la levée des tiges, on est dans l'obligation de développer en pure perte un excès de travail moteur et que, pendant la descente, lorsque ayant rempli son rôle d'un instant, cet excès de poids est devenu libre, il donne lieu à une accélération dangereuse de tout l'attirail, accélération qu'il faut détruire au moyen d'une résistance spéciale à créer afin d'éviter les chocs désastreux qu'elle entraînerait.

Moyens employés pour atténuer les inconvénients résultant de l'excès de poids des tiges. — Dans les machines ordinaires, cette résistance s'obtient en n'ouvrant qu'incomplétement la soupape d'équilibre, de manière à maintenir au-dessous du piston descendant une pression supérieure à celle de la vapeur sur son autre face. Mais on ne détruit

---

il n'exige pour se produire aucune augmentation dans le poids de la maîtresse-tige. En effet, pour que les clapets d'aspiration s'ouvrent, il faut diminuer la pression au-dessus d'eux jusqu'à ce que le rapport des deux pressions, supérieure et inférieure, soit l'inverse de celui des deux surfaces du clapet. Il faut, pour cela, développer une force d'aspiration plus grande que celle qui correspond à la hauteur d'aspiration ; mais comme cette force est produite directement par le moteur, à la levée des tiges, il n'y a aucune difficulté à faire agir la vapeur au commencement de la levée, et pendant un temps très-court, à une pression un peu plus grande que la pression nécessaire pour produire l'aspiration, et à la laisser détendre ensuite. Ces derniers clapets ne donnent donc pas lieu à des pertes de travail moteur comme les clapets de refoulement et de soulèvement.

ainsi qu'une partie du travail produit par la descente de cet excès de poids; et pour utiliser ce qu'il en reste à la fin de la course descendante, en même temps que pour éviter tout choc, on ferme, avant la fin de la course, la soupape d'équilibre, de manière à enfermer dans le cylindre et dans l'espace nuisible un certain volume de vapeur qui se comprime jusqu'à atteindre, à la fin de la course, la pression moyenne que présentait la vapeur pendant la levée de la maîtresse tige.

Toutefois, il faut remarquer que la quantité de travail résistant qui peut être produite par cette compression, est rigoureusement limitée : en effet, la maîtresse-tige ne doit pas se remettre en mouvement en sens inverse immédiatement après qu'elle a achevé sa descente ; il faut laisser, après la descente, un temps d'arrêt suffisamment prolongé pour que la fermeture des clapets se fasse nettement et sans choc : dès lors la tension finale de la vapeur comprimée ne doit pas dépasser, ni même atteindre, celle qui, agissant sous le piston, serait suffisante pour le faire remonter. La force du *ressort de choc* que l'on crée par cette compression, étant ainsi limitée, on voit que la vitesse de descente de la maîtresse-tige, dont il doit absorber toute la puissance vive, ne peut, à aucune condition, dépasser une certaine limite au moment où la compression de la vapeur doit commencer. C'est pour cela que, dans les machines d'épuisement, on n'admet jamais de vitesses de descente supérieures à $0^m,400$ et $0^m,500$ au plus.

Mauvaises conditions de marche des machines ordinaires. — En résumé, donc, dans les machines d'épuisement ordinaires, on a des maîtresses-tiges dont le poids, non équilibré, dépasse le poids nécessaire de 20 à 30 p. 100, et cet excès de poids a deux inconvénients principaux :

En premier lieu il exige, pour être soulevé pendant la montée des tiges, une dépense de vapeur qui lui est proportionnelle. Il augmente donc, en pure perte, la consom-

mation de combustible, qui est la grosse dépense des grands épuisements.

En second lieu, l'accélération que produit cet excès de poids pendant la descente, oblige à maintenir dans des limites très-étroites la vitesse de descente pour rester maître d'arrêter les tiges sans choc à la fin de leur course. Cette obligation est d'autant plus stricte que la force résistante qui limite et la vitesse et la course, n'est réglée que par la soupape d'équilibre, dont le moindre dérangement dans l'appareil de distribution peut, par une simple augmentation d'ouverture ou par un retard dans la fermeture, amener des chocs désastreux pour la machine et tout l'attirail. Cette condition de vitesse réduite est très-préjudiciable parce que le temps d'arrêt devant être au minimum de 1 à 2″ à l'extrémité de chaque course, et la vitesse d'ascension des tiges étant limitée elle-même à $1^{m},600$ au plus (vitesse moyenne), le nombre de levées par minute, et par conséquent la puissance d'une machine donnée, se trouve atteindre très-rapidement une limite qu'elle ne peut dépasser, et alors, pour une quantité donnée d'eau à épuiser, on est dans la nécessité d'établir une machine plus importante, et par conséquent plus coûteuse qu'elle ne le serait si l'on avait quelque moyen d'augmenter son rendement et sa vitesse.

Moyen d'augmenter le rendement et la puissance des machines d'épuisement. — Si donc on parvenait à remplacer cet excès de poids des tiges (excès nécessaire au départ et seulement pour les premiers instants de la course, mais nuisible pendant tout le reste), par un appareil indépendant de la machine, mais subordonné à la force motrice, et disposé de manière à restituer périodiquement, et à l'instant voulu, à la maîtresse-tige l'excès de poids nécessaire pour le fonctionnement des clapets, on arriverait :

1° A n'avoir plus besoin de développer, comme travail moteur que le travail nécessaire pour élever une maîtresse-

tige dont le poids pourrait être rigoureusement égal au poids moyen des colonnes d'eau refoulées, augmenté du poids nécessaire pour vaincre toutes les résistances passives des pompes et de la machine pendant la descente; ce qui ferait monter le rendement des machines de 70 à 90 et 92 pour 100, puisque nous avons vu que l'on perdait actuellement plus de 20 pour 100 du fait seul des clapêts.

2° A pouvoir augmenter très-notablement la vitesse de marche des machines, particulièrement à la descente, ce qui augmenterait d'autant leur puissance sans diminuer la sécurité, puisqu'on n'aurait plus à craindre l'accélération croissante de l'attirail pendant la descente.

C'est précisément là le but que s'est proposé M. Bochkoltz, en imaginant l'appareil qu'il a appelé le *régénérateur de force*. Ce but, il l'a atteint complétement; c'est pourquoi j'ai cru utile de faire connaître ici en détail la disposition théorique de l'appareil, et l'application que M. L. A. Quillacq, constructeur à Anzin, en a faite avec un plein succès à la belle machine d'épuisement qu'il a établie à la fosse n° 4 du charbonnage du nord de Charleroi.

II. — Régénérateur Bochkoltz. — Description. — Avantages.

Pour atteindre le but que j'ai indiqué ci-dessus, M. Bochkoltz, a imaginé deux appareils entièrement différents quant à la disposition :

L'un, le plus facilement applicable à des machines déjà installées, repose sur la parfaite compressibilité de l'air et sur la loi de Mariotte. *C'est l'appareil à air comprimé.*

L'autre, le meilleur au point de vue de la simplicité de construction et de la facilité d'entretien, celui, par conséquent, qu'il semble préférable d'adopter dans le cas d'une machine nouvelle à installer, est une espèce de pendule qu'on établit perpendiculairement au balancier-contre-

poids, de manière à annuler dans certaines positions et augmenter dans d'autres l'action du contre-poids. C'est *l'appareil à poids oscillant.*

Appareil à air comprimé. — Dans un cylindre bien alésé (voir la *fig.* 4 de la Pl. V), se meut un piston muni d'une garniture convenable, dont la tige est reliée directement ou indirectement à la maîtresse-tige, de manière à suivre tous ses mouvements. Au-dessus et au-dessous de ce piston, ainsi que dans les deux réservoirs A et B établis latéralement au cylindre et communiquant avec lui, se trouve de l'air atmosphérique. Ces deux réservoirs sont pourvus chacun de deux robinets, dont l'un, à entonnoir, sert à introduire un liquide quelconque, qui permet de régler exactement la capacité intérieure du réservoir, tandis que l'autre permet de mettre en communication avec l'atmosphère l'intérieur du réservoir, et, par suite, la partie du cylindre qui communique avec lui. Les volumes d'air sont réglés de telle façon que, lorsque le piston est au bas de sa course, le volume d'air compris au-dessous de lui soit rigoureusement égal à celui qui est au-dessus de lui quand il est au haut de sa course.

Si alors le piston est soulevé par la maîtresse-tige, de sa position initiale *ef*, jusqu'à sa position finale *e'f'*, l'air compris au-dessus de lui est comprimé depuis la tension initiale qui était celle de l'atmosphère, jusqu'à une certaine tension *t*, donnée par la loi de Mariotte, l'air compris au-dessus de lui reste à la pression de l'atmosphère avec laquelle on a soin de le laisser en communication pendant cette première course. A cet instant on ferme le robinet, et l'appareil se trouve réglé.

En vertu de la différence de tension de l'air au-dessus et au-dessous du piston dans sa position extrême, celui-ci exerce sur la maîtresse-tige une certaine pression de haut en bas qui constitue la force supplémentaire nécessaire à l'ouverture des clapets de refoulement des pompes.

Lorsque cette ouverture est opérée, le piston à air redescend avec la maîtresse-tige, et comprime l'air qui se trouve au-dessous : mais, par suite de la symétrie des volumes, le travail total produit par l'air supérieur au piston en se détendant, est exactement égal au travail absorbé par la compression de l'air inférieur. Par contre, ainsi qu'on peut le voir sur le diagramme que j'ai figuré à côté du cylindre à air (*fig.* 5 de la Pl. V), pour montrer à tout instant la variation des pressions au-dessus et au-dessous du piston, le travail produit par la détente jusqu'à un point intermédiaire, avant le milieu de la course, laisse, par rapport au travail absorbé par la compression, un certain excès qui accélère en conséquence la vitesse pendant la première moitié de la course; il s'annule au milieu de la course, et c'est le travail résistant de la compression qui, prenant le dessus à partir de cet instant, et croissant jusqu'à la fin de la course, réduit graduellement cette vitesse pour la ramener finalement à zéro.

A la levée des tiges, la force supplémentaire, produite par la détente de l'air inférieur au piston, est dirigée de bas en haut, et sert alors à déterminer l'ouverture des clapets d'aspiration, puis elle augmente d'abord la vitesse de levée pour la ralentir ensuite graduellement.

Si, pour une raison ou pour une autre, on désirait augmenter l'effet du régénérateur, on ajouterait du liquide dans les réservoirs de manière à diminuer le volume final, et, par suite, à augmenter la tension finale de l'air qu'il contient.

Cet appareil peut s'installer directement sur la maîtresse-tige, en établissant par exemple deux cylindres à air conjugués des deux côtés de la maîtresse-tige, ou, si la machine est à balancier, en un point quelconque du balancier.

Appareil à poids oscillant. — Le balancier à contre-poids A. B (voir la *fig.* 6 de la Pl. V), balancier qui est relié à la

maîtresse-tige par une bielle AM, est muni d'un troisième bras CD, établi en son milieu, en dessous et perpendiculairement à lui. Ce bras porte un poids Q, qui décrit en oscillant, des angles égaux de part et d'autre de la verticale CV, de manière à remonter toujours au même niveau dans ses positions extrêmes, et à ne fournir ni à emprunter aucun travail si l'on considère une oscillation complète.

Dans la position la plus élevée de la maîtresse tige, ce poids occupe la position D et contre-balance alors une partie correspondante du contre-poids P; il diminue donc d'autant l'allégement produit par celui-ci sur la maîtresse-tige, à laquelle il rend tout l'excès de poids nécessaire à l'ouverture des clapets de refoulement. Lorsque celle-ci est opérée, le poids Q accélère de plus en plus la descente des tiges jusqu'au milieu de leur course.

A ce point leur vitesse atteint son maximum, puis il la ralentit pendant toute la seconde moitié de l'oscillation, et la ramène à zéro après avoir absorbé par son élévation de V en D', tout le travail qu'avait produit sa descente de D en V.

Au moment où la maîtresse-tige est arrivée au point le plus bas de sa course, et où elle doit se remettre en mouvement en sens inverse, c'est-à-dire en montant, la force de traction à exercer sur elle doit vaincre le poids libre de la maîtresse-tige, plus le poids des colonnes d'eau à aspirer ou à soulever, plus les différentes résistances passives de tout l'appareil, et enfin fournir le supplément de force d'aspiration nécessaire pour provoquer le soulèvement des clapets d'aspiration. A cet instant on voit que le poids oscillant Q, ajoute son action au contre-poids P et augmente ainsi l'effort de traction. Puis, les clapets une fois ouverts, il agit de D en V pour augmenter la vitesse de montée des tiges, et de V en D' pour la ralentir et la ramener finalement à zéro, lorsqu'il est revenu à la hauteur d'où il était parti.

Action de l'appareil Bochkoltz sur la marche des machines d'épuisement. — En résumé, dans l'action de l'appareil Bochkoltz, on peut distinguer deux périodes bien différentes :

Dans la première, — départ d'une de ses positions extrêmes — il sert à produire sur la maîtresse-tige, dans la direction voulue, la force supplémentaire nécessaire pour la levée des clapets.

Dans la deuxième, — qui commence au moment de la levée des clapets — l'appareil augmente pendant la première moitié de l'oscillation, l'excédant du travail développé par le moteur ou la maîtresse-tige sur l'effet restant à produire sur les pompes, et par là il devient capable, pendant la seconde moitié de l'oscillation, de revenir à sa position primitive, en reprenant l'excès de travail développé, et de produire, à son tour, à l'excursion suivante, la force supplémentaire dans le sens voulu.

Si l'on ne considère l'appareil que pendant la seconde période, on voit qu'en augmentant le poids oscillant, ou, ce qui revient au même, la pression finale de l'air dans l'appareil à air, on peut augmenter la vitesse de marche, tout en étant assuré par la résistance progressive créée pendant la remonte, que l'excursion totale ne sera pas dépassée et que les tiges, par conséquent, s'arrêteront à temps. On peut donc avoir plus de vitesse avec une régularité parfaite.

Avantages pratiques du Bochkoltz. — Au point de vue pratique, on voit que l'appareil Bochkoltz procure, au moyen d'une dépense relativement très-faible, — le prix de son installation, — trois avantages industriellement très-importants :

En premier lieu, il permet de décharger la maîtresse-tige de tout le poids nécessaire à l'ouverture des clapets — ce qui se traduit par une économie de charbon proportionnelle à la réduction de poids de la maîtresse-tige, égale par conséquent à 20 o/o au moins comme nous l'avons vu précédemment.

En second lieu, il permet de donner sans danger un plus grand nombre d'impulsions par minute, — ce qui, pour une machine donnée, équivaut à une augmentation de puissance, qui peut être, dans bien des cas, de 1 à 1 et 1/2.

En troisième lieu, il régularise le mouvement, et, en limitant la course dans l'un et l'autre sens, il prévient les chocs de la maîtresse-tige et, par conséquent, les ruptures si fréquentes dans bien des épuisements ; ce qui se traduit par une économie précieuse dans les frais d'entretien.

S'il s'agissait de construire une machine nouvelle d'une puissance maxima déterminée, l'application de l'appareil Bochkoltz permettrait de lui donner des dimensions bien moins considérables que celles usitées jusqu'à présent, en raison même de l'accroissement d'effet utile et de puissance que cet appareil procure. Cette réduction ne s'étendant pas seulement à la machine motrice, mais encore aux générateurs, représente une économie de premier établissement qui ne saurait être dédaignée par les exploitants.

III. — Machine d'épuisement de la fosse n° 4 du nord de Charleroi. — Première application du régénérateur Bochkoltz. — Calcul des efforts et du travail.

La machine d'épuisement du nord de Charleroi a été construite dans les ateliers de MM. L. A. Quillacq, constructeurs à Anzin, seuls constructeurs autorisés par M. Bochkoltz pour la construction de son appareil en France. Elle a été mise en activité en octobre 1871, et marche, par conséquent, depuis six mois. C'est la première machine importante, après la machine établie à Kladno (Bohême) et construite aussi par M. Quillacq, qui ait été pourvue du nouvel appareil : c'est la première dans laquelle il fonctionne dans des conditions normales ; car à Kladno la machine ne fonctionnant encore que comme pompe d'avaleresse, on n'a pu régler définitivement l'appareil à poids oscillant dont elle est pourvue. Au nord de Charleroi, au contraire, les condi-

tions étant dès maintenant nettement déterminées, on a pu installer et régler définitivement l'appareil.

Profondeur de l'épuisement. — La profondeur du puits d'épuisement, qui devra être de 500 mètres, n'est actuellement que de 250 mètres. Le niveau moyen des eaux est à 245m,35 du déversoir au jour, et cette hauteur, qui est la hauteur effective dont il faut que la machine élève l'eau, a été divisée en deux parties très-inégales :

Sur la première qui a 12m,350, on a établi une pompe aspirante et soulevante qui prend l'eau au fond du puits.

Sur la seconde qui a 233 mètres, on a établi quatre pompes aspirantes et foulantes échelonnées à des distances variant de 57m,35 à 59m,95.

L'ensemble de l'installation est représenté par les *fig.* 2, 3 et 4 de la Pl. VI, auxquelles je renvoie.

Machine motrice. — La machine motrice est une machine à traction directe à simple effet, à détente et à condensation avec distribution par soupapes commandée par deux poutrelles attelées sur le balancier de contre-poids. Une cataracte unique à double effet règle les temps d'arrêt.

Le cylindre moteur est à enveloppe de vapeur, la vapeur en sortant des chaudières passant dans l'enveloppe avant d'arriver à la chapelle de distribution : le modérateur est placé sur l'enveloppe même, entre elle et les chaudières.

Les dimensions caractéristiques de la machine sont les suivantes :

Diamètre du piston moteur.	1m,400
Surface du piston.	1m²,53, 93, 80
Course moyenne.	2m,300
Diamètre de la tige.	0m,165

Soupapes à double siége du Cornouailles ayant les dimensions suivantes :

	Diamètre intérieur.	Surface.
Soupape d'admission de vapeur.	$0^m,215$	$0^{m2},03, 63, 05$
Soupape d'équilibre.	$0^m,215$	$0^{m2},03, 63, 05$
Soupape d'échappement.	$0^m,255$	$0^{m2},05, 10, 70$
Diamètre du piston de pompe à air	$0^m,860$	
Course.	$0^m,828$	

Cette machine établie au-dessus du puits au niveau de la recette supérieure, est portée par deux fortes poutres en tôle.

Maîtresse-tige. — La maîtresse-tige qui est formée sur toute sa longueur de deux tiges identiques écartées de $1^m,110$ d'axe en axe, est entièrement en fer. Chaque tige se compose de deux fers plats à section décroissant de haut en bas, reliés entre eux par des croix de Saint-André en fer plat constituant l'âme de cette poutre évidée à double T. Ces fers plats dont la section moyenne est de $0^m,230 \times 0^m,014$, sont assemblés bout à bout par des couvre-joints boulonnés ou rivés.

Attelage de la maîtresse-tige à la tige de piston. — Une forte traverse en fer forgé qui, à la partie supérieure, réunit les deux tiges, reçoit en son milieu l'extrémité de la tige du piston moteur ; celle-ci est maintenue en dessous par deux écrous et une clavette.

Entretoises. — Tous les 14 mètres, des fers à double T réunissent les deux tiges, dont ils assurent ainsi la solidarité complète.

Guidonnages. — Tous les 10 mètres, la tige qui en ces points porte des fourrures en bois, est guidée entre deux bois scellés dans le muraillement du puits.

Heurtoir. — A sa partie supérieure, la maîtresse-tige porte, fixés sur des cornières, des bois faisant saillie sur elle et voyageant, pendant l'ascension ou la descente, entre deux paires de sommiers qui limiteraient sa course en cas de rupture de la bielle d'attelage au balancier.

Pompes foulantes. — Les pompes foulantes dont la dis-

position est donnée par les *fig.* 3 et 4 de la Pl. VI, sont installées entre les deux tiges de la maîtresse-tige, de manière à ce que l'axe des plongeurs se confonde avec l'axe de la maîtresse-tige.

Le diamètre des plongeurs est de $0^m,300$.

Attelage des plongeurs à la maîtresse-tige. — Les plongeurs sont reliés à la maîtresse-tige au moyen de traverses en fonte rivées sur les fers plats des tiges, et au milieu desquelles on fixe, par quatre boulons, le collet qui termine la partie supérieure du plongeur.

Clapets. — Les clapets sont tous, même les clapets de la soulevante, formés d'un disque en fonte de $0^m,345$ de diamètre extérieur pesant environ 45 kilogrammes, garni inférieurement d'un anneau en cuir, maintenu par une tôle et douze boulons. Ce disque repose sur un siége plat en fonte, présentant un vide annulaire de $0^m,305$ de diamètre intérieur, avec noyau central de $0^m,075$ de diamètre extérieur portant une tige tournée de $0^m,040$ de diamètre qui sert de guide au clapet pendant sa levée.

Pompe soulevante. — La pompe aspirante et soulevante est établie excentriquement par rapport à l'axe de la maîtresse-tige, de manière à ce qu'on puisse accrocher sa tige à une potence rivée sur l'une des tiges.

Le corps de pompe est en fonte d'un diamètre intérieur de $0^m,330$.

Le piston est en fonte avec garniture formée d'un cuir embouti.

Il est attelé à une tige en bois, formée de trois pièces réunies bout à bout, au moyen de fourches en fer liées entre elles par des assemblages à clavettes.

Hauteur de refoulement. — Les sommiers qui portent les pompes sont à $57^m,60$ les uns des autres, mais la hauteur de refoulement de chaque jeu est sensiblement différente de ce chiffre. En effet, la hauteur moyenne de refoulement étant la hauteur mesurée depuis le dessous des plongeurs

supposés à moitié course, jusqu'au déversoir pour le jeu supérieur, et jusqu'au niveau moyen de l'eau dans les bacs de répétition pour les jeux inférieurs, on voit, en se reportant au plan d'ensemble, que la hauteur du jeu supérieur est de $59^m,95$, obtenue en ajoutant à :

+ $57^m,600$, cote de ses sommiers;

+ $1^m,600$, hauteur du déversoir au-dessus de la margelle du puits, point de départ des cotes;

+ $0^m,750$, hauteur dont le plongeur à mi-course descend au-dessous des sommiers.

Pour les trois jeux inférieurs dont toutes les cotes sont identiques, la hauteur de refoulement est de $57^m,350$, hauteur obtenue en retranchant de $57^m,600 - 0^m,250$ qui est la hauteur d'aspiration de chaque jeu.

Donc la hauteur moyenne totale du refoulement est de 232 mètres ainsi répartis :

	mètres.
Hauteur de refoulement du premier jeu. . .	59,950
Hauteur de refoulement du second jeu. . . .	57,350
Hauteur de refoulement du troisième jeu. .	57,350
Hauteur de refoulement du quatrième jeu. .	57,350
Total	232,000

Hauteur d'aspiration. — Pour calculer la hauteur d'aspiration de chaque jeu foulant, c'est-à-dire la hauteur moyenne du dessous du piston plongeur supposé à moitié course, au-dessus du niveau moyen de l'eau dans le bac de répétition, il faut (les bacs étant toujours pleins au commencement de chaque levée, par suite de venues d'eau recueillies à chaque niveau), calculer la hauteur totale dont l'eau descend pour une levée complète dans l'espace laissé libre entre la succion et le bac, en prendre la moitié, puis rapporter la hauteur moyenne ainsi trouvée pour l'eau au-dessous des bords du bac $= 0^m,225$, au-dessous du plongeur qui, dans sa position moyenne, est à $0^m,025$ au-dessus des bords du bac.

La hauteur moyenne d'aspiration de chaque jeu foulant est donc de $0^m,250 = 0^m,225 + 0^m,025$.

La hauteur moyenne totale d'aspiration des quatre jeux foulants, est par conséquent de 1 mètre.

Quant à la hauteur du jeu aspirant et soulevant, hauteur qui est celle du niveau moyen de l'eau dans le bac du dernier jeu foulant, au-dessus du niveau moyen de l'eau dans le puisard, elle s'obtient en retranchant de $245^m,350$, profondeur totale de l'épuisement, 233 mètres, hauteur totale, — refoulement et aspiration — des quatre jeux foulants. On trouve ainsi $12^m,350$.

Balancier contrepoids et régénérateur Bochkoltz. — Le balancier contrepoids qui porte au-dessous de lui l'appareil Bochkoltz, est un balancier en tôle établi au jour et relié à la maîtresse-tige par une bielle de $2^m,750$ comme l'indique la *fig.* 1 de Pl. VI.

Sa disposition est celle d'une ferme renversée, dont le balancier proprement dit serait le tirant, le bras Bochkoltz le poinçon et les tirants consolidant ce bras les arbalétriers. Il se compose de deux flasques en tôle profilées comme l'indique le dessin, fortement entretoisées, et comprenant entre elles : à l'extrémité opposée à la machine, une caisse en fonte dans laquelle on met les pièces de fonte qui servent de contrepoids ; et à l'extrémité du bras Bochkoltz, une autre caisse en fonte faite pour constituer le poids oscillant.

Les trois bras du balancier, mesurés de l'axe au centre de gravité des caisses, ou à l'axe d'attelage de la bielle, sont égaux et ont $3^m,550$.

L'ensemble de la machine étant ainsi compris, calculons pour bien rendre compte de l'action du Bochkoltz, tous les efforts qu'il faut vaincre à la descente comme à la levée des tiges, et, avant tout, précisons les éléments à considérer dans ce calcul.

Éléments à considérer dans le calcul d'une machine d'é-

puisement avec régénérateur de force.—Si l'on cherche à se rendre minutieusement compte de ce qui se passe dans les machines d'épuisement à simple effet, on voit que le poids de la maîtresse-tige, qui est l'élément essentiel à considérer, ainsi que nous l'avons vu précédemment, doit être au moins égal à la somme des poids suivants :

1° Poids moyen de la colonne d'eau à refouler;

2° Poids nécessaire pour vaincre, à la descente, les frottements dans les pompes, les guidonnages, la machine motrice, et surmonter toutes les résistances passives de l'appareil;

3° Poids nécessaire pour produire l'ouverture des clapets de refoulement;

4° Ce poids doit être augmenté du poids qui représente l'influence de la pression atmosphérique, influence qui en raison même de l'inégalité des deux surfaces des clapets, se fait plus sentir au-dessus qu'au-dessous.

Ce poids minimum, que j'appellerai *poids libre* de la maîtresse-tige — parce que c'est le poids qui doit rester libre pour produire la descente, lorsqu'après avoir soulevé la maîtresse-tige, la vapeur l'abandonne à elle-même — ce *poids libre* est le plus souvent très-inférieur au poids réel de la tige, soit que des nécessités de construction aient obligé à lui donner plus de force, soit, ce qui est le cas de toutes les machines à détente, qu'on ait dû augmenter considérablement sa masse, pour l'empêcher de prendre au commencement de la levée, sous l'action de la vapeur à pleine pression, une vitesse exagérée. Dans ce cas, on équilibre, ou tout au moins on doit équilibrer tout l'excédant de poids, au moyen de contrepoids, qui peuvent être disposés de plusieurs manières, de façon à ne laisser à la charge de la machine motrice que le poids libre.

Ce poids libre une fois déterminé, il faut pour calculer les efforts à produire par la machine motrice, y ajouter :

1° Le poids moyen de la colonne d'eau de la pompe aspirante et soulevante;

2° Le poids moyen des colonnes d'eau aspirées par chaque jeu foulant;

3° Les frottements et résistances passives à vaincre à la levée, dans toute la machine;

4° La résistance de la pompe à air;

5° Les frottements de la pompe élévatoire;

6° Le poids qui mesure l'effort à développer pour déterminer l'ouverture des clapets d'aspiration.

Calculons un à un tous ces éléments pour le cas qui nous occupe.

Poids moyen de la colonne d'eau à refouler, p. —La colonne d'eau à refouler ayant pour base la surface d'un piston plongeur de $0^m,300$ de diamètre, et pour hauteur moyenne 232 mètres, son poids en kilogrammes est donné par la formule suivante :

$$p=\left(\frac{3,14\times\overline{0^m,300}^2}{4}\right)\times 232^m\times 1.000^k=0^{m2},07.06.85\times 232\times 1.000^k.$$

$$p=16.398^k,820.$$

Je prendrai pour simplifier les calculs $p = 16\,400$ kilogrammes.

Influence des résistances passives, p_1. — Les résistances passives de toutes espèces, n'exigent pour être vaincues à la descente qu'un poids d'au plus 738 kilogrammes, ainsi que cela résulte des expériences que je rapporterai plus loin. Je prendrai donc :

$$p_1=738^k.$$

Excès de poids nécessaire à l'ouverture des clapets de refoulement, p_2. — Les clapets de refoulement des quatre jeux foulants ayant une surface supérieure égale à :

$$3,14\left(\frac{\overline{0^m,345}^2-\overline{0^m,040}^2}{4}\right)=0^{m2},09,\ 22,\ 66,$$

et leur surface inférieure étant égale à :

$$3,14\left(\frac{\overline{0^m,305}^2 - \overline{0^m,075}^2}{4}\right) = 0^{m^2},06,\ 86,\ 44.$$

L'excès de poids nécessaire à l'ouverture des clapets est le poids d'une colonne d'eau qui aurait pour base la différence des deux surfaces, et pour hauteur 232 mètres, la hauteur totale du refoulement. Ce poids est donc :

$$(0^{m^2},09\,.\,22\,.\,26 - 0^{m^2},06\,.\,86\,.\,44) \times 232^m \times 1{,}000^k$$
$$= 0^{m^2},02\,.\,35\,.\,82 \times 232^m \times 1.000^k,$$
$$p_2 = 5.471^k,024.$$

Influence de la pression atmosphérique, p_3.— A ce poids p_2 il faut ajouter l'influence de la pression atmosphérique, qui avant l'ouverture des clapets agit très-inégalement sur les deux faces :

Sur la surface supérieure elle produit une pression qui est mesurée par :

$$0^{m^2},09\,.\,22\,.\,26 \times 10^m,33 \times 1.000^k = 952^k,695.$$

Sur sa surface inférieure elle n'agit que par la pression exercée par elle sur la surface du piston plongeur, pression qui est intégralement transmise au-dessous du clapet, et qui est mesurée par :

$$0^{m^2},06\,.\,86\,.\,44 \times 10^m,33 \times 1.000^k = 709^k,093.$$

L'effort à produire pour vaincre cette influence est donc pour chaque jeu foulant de :

$$952^k,695 - 709^k,093 = 243^k,602,$$

et comme il y a quatre jeux foulants :

$$p_3 = 974^k,408.$$

En réunissant p_2 et p_3, on voit que l'ouverture des clapets seule exige un effort au moins égal à :

$$p' = p_2 + p_3 = 6.445^k,45$$

En chiffre rond, je prendrai pour la facilité du calcul :

$$p' = 6.450^k.$$

Dans ce calcul je néglige le clapet de la pompe soulevante, parce que, par suite de son mode d'attelage, cette pompe peut être considérée comme indépendante de la maîtresse-tige, par rapport à laquelle elle est toujours un peu en retard pendant la descente. Son influence est d'ailleurs négligeable, car la hauteur d'eau qui agit sur le clapet de son piston n'est que de 13 mètres au plus au départ.

Mesure de l'influence des clapets. —En résumé, on voit que dans le cas qui nous occupe, le rapport des surfaces supérieures et inférieures des clapets étant de :

$$\frac{0,09 \, . \, 22 \, . \, 26}{0,06 \, . \, 86 \, . \, 44} = 1,343,$$

et le poids moyen de la colonne d'eau à refouler étant de 16,400 kilogrammes $= p$,

L'effort total à exercer simplement pour déterminer l'ouverture des clapets est de :

$$22.850^k = p + p_2 + p_3 = p''.$$

Le rapport de p'' à p, rapport qui mesure l'influence des clapets sur le poids de la maîtresse-tige est de :

$$\frac{22.850}{16.400} = 1,393,$$

Ou, autrement dit, du fait seul de l'existence des clapets, la tige doit avoir un excès de poids qui représente :

39,22 p. 100 du poids de l'eau à refouler
et 27,34 p. 100 de son poids libre strictement nécessaire,

poids libre qui, dans le cas qui nous occupe, devrait être, s'il n'y avait pas de Bochkoltz, d'au moins :

$$23.588^k = p + p_1 + p_2 + p_3 = P.$$

Effort nécessaire pour produire la descente des tiges. — Ce poids libre, c'est la mesure rigoureuse de l'effort à exercer pour produire la descente des tiges. La descente une fois commencée, le poids p' (6.450 kilogrammes) devient entièrement inutile.

Pour avoir l'effort à développer par la machine motrice, il faut ajouter à ce poids P : *Poids de la colonne d'eau de la pompe aspirante et soulevante* P_1. — 1° le poids moyen de la colonne d'eau aspirante et soulevante, poids qui est donné par la formule :

$$3,14 \times \frac{\overline{0,330}^2}{4} \times 12^m,350 \times 1.000^k = 0^{m2},08,55,29 \times 12^m,350 \times 1.000^k,$$

$$\text{d'où } P_1 = 1.056^k,283.$$

Poids des colonnes d'eau aspirées par les jeux foulants P_2. — 2° le poids moyen des colonnes d'eau aspirées par chaque jeu foulant. Chacune de ces colonnes a, comme nous l'avons vu précédemment, une hauteur de $0^m,250$; comme il y en a quatre, cela donne une hauteur totale de 1 mètre, avec un diamètre uniforme de $0^m,300$. Le poids est donc donné par la formule :

$$3,14 \times \frac{\overline{0,300}^2}{4} \times 1^m,000 \times 1.000^k = 0^{m2},07,06,85 + 1^m \times 1.000^k,$$

$$P_2 = 70^k,685.$$

Influence des résistances passives P_3. — 3° le poids qui représente les résistances passives et les frottements de toutes espèces, qui se produisent pendant la levée des tiges. Je les exprimerai par un chiffre égal à celui que nous avons admis pour les résistances de la descente :

$$P_3 = p = 738^k.$$

Résistance de la pompe à air P_4.—4° le poids correspondant à la résistance opposée par la pompe à air à la levée de son piston, poids que je supposerai égal à :

$$P_4 = 877^k.$$

Frottement de la pompe élévatoire P_5.—5° le poids équivalent aux frottements qui se produisent dans la pompe élévatoire pendant sa levée, frottements qui se calculent d'après la formule suivante :

$$P_5 = (0^m,33 \times 3,14 \times 0,050) \times (12^m,35 \times 1.000^k) \times 0,23.$$

dans laquelle le premier terme est la surface de frottement du piston en cuir, le second terme la charge d'eau à soulever, et le troisième le coefficient de frottement :

$$\text{d'où } P_5 = 0^{m2},05,\ 18 \times 12.350^k \times 0,23.$$
$$P_5 = 147^k,138.$$

Excès de force nécessaire à l'ouverture des clapets d'aspiration P_6. — 6° le poids qui mesure l'effort à développer pour déterminer l'ouverture des clapets d'aspiration ; c'est le poids d'une colonne d'eau qui aurait pour base la différence des deux surfaces des clapets d'aspiration (qui sont semblables entre eux et aux clapets de refoulement) et pour hauteur, une hauteur égale à la hauteur totale des colonnes d'eau aspirées. On a donc :

$$P_6 = 0^{m2},02,\ 35,\ 82 \times 13^m,35 \times 1.000^k.$$
$$P_6 = 314^k,819.$$

Efforts à développer pour la levée des tiges. — L'effort à développer par la machine motrice, pour la levée des tiges est donc :

$$E = P + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 26.791^k,925.$$

soit $E = 26.792$ kilogrammes en nombre rond.

Tel est le poids minimum que la machine motrice aurait eu à soulever de toute la course, à chaque levée, si l'on n'avait pas appliqué l'appareil Bochkoltz.

Mais avec l'appareil Bochkoltz, qui détermine l'ouverture des clapets à la levée comme à la descente des tiges, l'effort à développer n'est plus que :

$$E' = p + p_1 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5.$$
$$E' = 20.027^k.$$

Poids qui est inférieur au premier de 6.765 kilogrammes c'est-à-dire de 25 p. 100 environ.

Voyons maintenant comment, avec cet appareil, les choses se passent dans la réalité.

Poids de la maîtresse-tige. — Le poids total de la maîtresse-tige et de toutes les pièces en mouvement attelées sur elle et rapportées à l'extrémité du balancier, dans l'axe de la tige, est de 48.778 kilogrammes ainsi répartis

	kilogrammes
Maîtresse-tige proprement dite.	32.704
Piston à vapeur, sa tige et ses écrous.	1.885
Traverse d'attelage, axe et bielle du balancier, avec accessoires divers.	2.159
4 plongeurs en fonte et leurs traverses.	3.442
Pompe soulevante, attelage et ferrures de sa tige.	185
Pièces de la distribution et de la pompe à air portées par le balancier à 1m,240 de son axe et rapportées à l'axe de la tige.	645
Bois de guidonnage portés par la tige.	7.760
Total.	48.778
A cela il faut ajouter l'effort produit par le déplacement du centre de gravité du balancier, dont le poids, pour des raisons de construction, n'est pas réparti symétriquement par rapport à l'axe. Cet effort représente un poids de. appliqué sur la tige et tendant à la faire descendre.	900
Le poids total de la maîtresse-tige est donc de. . .	49.678

Poids du contrepoids. — Le poids total de la caisse du contrepoids, et des plaques en fonte qu'elle contient, est — rapporté à son centre de gravité — de 32.540 kilogrammes.

C'est le poids exact qui équilibrait l'excédant de poids des tiges le jour même des expériences.

Poids libre des tiges. — Le *poids libre* de la maîtresse-tige, celui qui, à la descente, agit sur l'eau à refouler est donc de :

$$49.678 - 32.540 = 17.138^k.$$

Poids qui ne présente, sur celui des colonnes d'eau à refouler, qu'un excédant de :

$$17.138 - 16.400 = 738^k.$$

Poids nécessaire pour vaincre les résistances. — Cet excédant est précisément le poids nécessaire pour vaincre les résistances passives. Il ne représente que 4, 5 p. 100 du poids des colonnes d'eau.

Poids Bochkoltz. — Le poids oscillant est — rapporté à son centre de gravité — de 34,420 kilog., en y comprenant le poids du bras lui-même supposé concentré au centre de gravité du poids oscillant.

Ce poids a été calculé de manière à produire sur la maîtresse tige, au moment du départ, un effort au moins égal à celui qui est nécessaire pour déterminer l'ouverture des clapets de refoulement.

Cet effort, est, comme nous l'avons vu précédemment, de 6.450 kilog., et si, pour déterminer le poids qui doit se produire, on pose, par rapport à l'axe du balancier, l'équation des moments statiques, en remarquant que par suite de la construction même, l'effort à produire sur les clapets s'exerce à $3^m,45$ de l'axe, distance de l'axe de la maîtresse-tige à l'axe du balancier, tandis que le poids Bochkoltz n'agit au départ qu'à $1^m,15$ de cet axe — moitié de la corde

de l'arc décrit par le poids oscillant — on voit que ce poids doit être d'au moins :

$$6.450 \times \frac{3,45}{1,15} = 6.450 \times 3 = 19.350^k.$$

Ce minimum nécessaire a été considérablement dépassé dans le cas qui nous occupe parce que d'abord la profondeur de l'épuisement devant être doublée dans un temps donné, on a mis de suite un poids suffisant pour qu'on n'ait pas à l'augmenter chaque fois qu'on ajoutera une pompe, ce qui causerait de grandes difficultés, vu la disposition des maçonneries.

On voulait d'ailleurs avoir de suite une assez grande vitesse de marche, et l'on a vu précédemment que plus le poids Bochkoltz est lourd, plus la vitesse moyenne est grande.

La seule condition qui limite le poids Bochkoltz, c'est qu'il ne faut pas qu'aux extrémités de la course, son moment soit assez grand pour déterminer la mise en mouvement de l'attirail sans le secours de la machine. Cette limite est dépassée ici, le diagramme le montrera, mais pas dans une proportion qui présente d'inconvénients sérieux.

IV. — Expériences. — Diagrammes. — Discussion des résultats obtenus.

Les expériences dont je vais rendre compte ont été faites sur la machine du Nord de Charleroi, le 26 mars 1872, par M. Bochkoltz lui-même, en présence de MM. Burat, professeur à l'école centrale des arts et manufactures, secrétaire du comité des houillières françaises, et ingénieur conseil du charbonnage du Nord de Charleroi, Jougneaux, directeur gérant du charbonnage, et Martin ingénieur de la maison L. A. Quillac et Compagnie. Comme la question m'intéressait, j'avais sollicité depuis longtemps l'autorisation d'assister à ces expériences, que j'ai suivies dans tous leurs

détails grâce à l'obligeance de ces messieurs; je suis heureux de pouvoir les en remercier ici publiquement.

Les expériences ont été de deux sortes :

Dans les premières on a relevé une série de diagrammes pris en mettant l'appareil en communication successivement avec chacune des faces du piston.

Dans les secondes, on a mesuré, pendant un certain nombre de courses de la maîtresse-tige, les vitesses successives que prend la tige, de manière à pouvoir construire une courbe des vitesses indiquant les variations pendant une course entière.

Diagramme. — Les diagrammes ont été pris avec un indicateur de Watt très-sensible, réglé avec le plus grand soin et disposé de manière à ce que les moindres mouvements du piston soient reproduits à une échelle plus grande par le crayon enregistreur. On laissait fonctionner l'indicateur pendant cinq levées complètes de la machine, et la régularité de marche de la machine était telle qne les cinq courbes obtenues coïncidaient.

Les diagrammes obtenus se résument tous dans le diagramme *fig.* 10 de la planche VI, diagramme que j'étudierai et discuterai tout à l'heure en détail.

Vitesse de descente. — Les vitesses de descente ont été mesurées en pointant sur une feuille de papier portée par une planchette fixée à la tige de commande de la pompe à air, et ayant une course qui était à celle de la maîtresse-tige dans un rapport connu, en pointant, dis-je — tous les cinquièmes de seconde — le passage de la tige en face d'un repaire fixe. On a pu arriver ainsi à avoir, pour chaque instant de la course, une série de vitesses par seconde dont on a pris la moyenne pour construire la courbe des vitesses de descente et de montée. C'est cette courbe qui est représentée par la *fig.* 7 de la Pl. V. Je donne ci-dessous le tableau qui résume en chiffres les résultats obtenus dans ces expériences.

Tableau des vitesses de la maîtresse-tige.

Course		LONGUEURS parcourues par la tige du piston de pompe à air depuis l'origine de la course jusqu'aux points successifs marqués sur la feuille de papier tous les cinquièmes de seconde. A	LONGUEURS parcourues par la maîtresse-tige — depuis l'origine jusqu'aux points correspondants A × 2,78	LONGUEURS parcourues par la maîtresse-tige — d'un point à l'autre par cinquième de seconde B	VITESSES moyennes par seconde d'un point à l'autre. (Abscisses.) B × 5	ESPACES parcourus par la maîtresse-tige depuis l'origine jusqu'aux points auxquels correspondent les vitesses de la colonne précédente. (Ordonnées.)	Observations.
		millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	
COURSE DESCENDANTE. — Durée : 3",8.		0	0			0	Vitesse { Maxima : 1m,095 ; Moyenne : 0m,593
		6	17	17	85	8	
		16	44	27	135	30	
		30	83	39	195	63	
		48	133	50	250	108	
		71	197	64	320	165	
		105	292	95	475	244	
		150	417	125	625	354	
		203	564	147	735	490	
		263	731	167	835	647	
		333	926	195	975	828	
		407	1,131	205	1,025	1,008	
		479	1,332	201	1,005	1,231	
		549	1,526	194	970	1,429	
		616	1,712	186	930	1,619	
		678	1,885	173	865	1,798	
		732	2,035	150	750	1,960	
		776	2,157	122	610	2,096	
		806	2,244	84	420	2,199	
		820	2,280	39	195	2,260	
					0	2,280	
COURSE MONTANTE. — Durée : 4", dont :	Arrêt précédant la montée : 1",4.	0	0				(1)
		3	8	8	40	4	
		10	28	20	100	18	
		14	39	11	55	33	
		15,5	43	4	20	41	
		17	47	4	20	46	
		19	53	6	30	50	
		21	58	5	25	55	
	Course montante proprement dite : 2",6.	25	70		60	64	Vitesse. { Maxima : 1m,450 ; Moyenne : 0m,867
		45	125	12	275	97	
		90	250	55	625	187	
		158	439	125	945	344	
		249	692	189	1,265	565	
		350	973	253	1,405	832	
		454	1,264	281	1,440	1,117	
		556	1,546	288	1,425	1,403	
		647	1,799	285	1,265	1,672	
		723	2,010	253	1,055	1,904	
		779	2,166	211	780	2,088	
		811	2,254	156	440	2,210	
		820	2,280	88	120	2,267	
				26	0	2,280	

(1) La durée du parcours d'un point à l'autre est chaque fois de 1/5 de seconde.

Durée totale d'une excursion double : 7",8, dont :

2",6 pour la montée.
3",8 pour la descente.
1",4 pour l'arrêt.

Nombre de levées par minute : $\frac{60}{7,8} = 7,7$.

Pour faire 8 levées, il suffira de réduire l'arrêt de 3/10 de seconde, alors on aura [illegible] :

Durée totale d'une excursion double : 7",5, dont :

2",6 pour la montée.
3",8 pour la descente.
1",1 pour l'arrêt.

Nombre de levées par minute : $\frac{60}{7,5} = 8$.

J'ai figuré à part, *fig.* 8 de la Pl. V, à plus grande échelle, les vitesses moyennes de la tige pendant le temps d'arrêt qui suit la descente. Cette courbe traduit graphiquement le léger mouvement de remonte qu'on observe toujours sur la maîtresse-tige quand, après la descente achevée, elle rebondit sur le matelas de vapeur formé au-dessous du piston par la fermeture anticipée de la soupape d'équilibre.

Etude et discussion du diagramme obtenu. — Pour bien faire ressortir les avantages donnés par l'appareil Bochkoltz, j'étudierai d'abord ce qui se passe dans toutes les machines d'épuisement à détente et à condensation non pourvues d'appareil Bochkoltz, et pour cela, je ne saurais mieux faire que de reproduire les diagrammes relevés sur les machines d'Egarande et de Sainte-Colette à Rive-de-Gier, par une commission composée de MM. Imbert, Baldeyron, Allimand et Leseure, commission dont le rapporteur M. Leseure, ingénieurs des mines à Rive-de-Gier, a publié les expériences dans le tome V du *Bulletin de l'industrie minérale*, pages 307 et 375. Ces diagrammes sont les diagrammes n°s 1 et 2 de la Pl. VI. A côté d'eux j'ai figuré n°s 3 et 4, des diagrammes relevés par moi sur les machines d'épuisement du Moulin et de Villars, appartenant à la compagnie des mines d'Anzin. En étudiant ces 4 diagrammes, on voit que, d'une manière générale, les diagrammes des machines d'épuisement à condensation et à détente sont de la forme représentée par le n° 5 de la même planche. C'est ce diagramme théorique que je vais analyser en détail, en suivant la courbe en quelque sorte point par point :

Face motrice. — Considérons d'abord le diagramme pris sur la face motrice du piston — c'est la courbe S — et dans cette courbe, considérons la partie *a, b, c, d, e, f*, qui représente le travail de la vapeur sur la face motrice du piston pendant la levée de la maîtresse-tige :

Levée de la maîtresse-tige. — *a, b,* indique un retard

dans la fermeture des clapets de refoulement, qui ne sont pas assez lourds, et, ne retombant pas assez rapidement sur leur siége, laissent redescendre l'eau des colonnes refoulées dont le poids soulève la maîtresse-tige. De plus, la pression de la vapeur comprimée, jointe à l'action exagérée du poids oscillant, est assez forte pour faire remonter ce poids de toute la hauteur représentée par AB, alors que l'admission ne commence qu'en B. De là une baisse de pression.

b. Les clapets de refoulement se referment, l'action des colonnes refoulées sur la maitresse-tige cesse, l'admission commence.

b, *c*. La pression monte jusqu'au degré voulu pour enlever seule la maîtresse-tige et tout l'attirail.

c, *d*. Admission pleine. La vapeur de l'enveloppe et celle venant des générateurs affluent en quantité suffisante pour maintenir la pression constante malgré l'accroissement du volume compris entre le fond du cylindre et le piston.

d, *e*. Détente apparente ou mixte. La pression baisse bien que la soupape d'admission reste toute grande ouverte, parce que la tige monte plus vite que n'afflue la vapeur qui subit un étirage à son passage au travers du modérateur — habituellement ouvert partiellement seulement — et de l'enveloppe. Il y a vitesse acquise par toute la masse de l'attirail, donc moindre force nécessaire pour entretenir le mouvement ascendant des tiges.

e, *f*. Détente réelle. La pression baisse rapidement, la quantité de mouvement emmagasinée par l'attirail entretenant le mouvement.

Descente de la maîtresse-tige. — Pendant la descente des tiges, le travail résistant produit par la vapeur restant au-dessous du piston est représenté par la courbe *f*, *g*, *h*, *i*, *a*.

f, *g* Indique un retard dans la fermeture des clapets d'aspiration qui ne sont pas assez lourds. Les clapets ne se fermant pas, la maîtresse-tige descend plus vite que ne

s'écoule la vapeur. Il y a légère compression de la vapeur, dont la pression se maintient et croît même légèrement.

g. Les clapets d'aspiration se ferment et la vitesse de descente des tiges est réglée par la résistance que lui offrent d'une part le poids des colonnes d'eau refoulées et d'autre part la vapeur comprise au-dessous du piston et passant sur l'autre face par la colonne d'équilibre dont la soupape n'est pas complétement ouverte.

g, h. La pression tombe rapidement parce que les tiges, équilibrées en grande partie par les colonnes d'eau refoulées, ne pèsent plus autant sur la vapeur qui, traversant la soupape d'équilibre, passe au-dessus du piston.

h, i. Refoulement régulier des colonnes d'eau produit par le poids libre. La pression résistante se maintient régulière *et doit être maintenue d'autant plus forte qu'on laisse au poids libre de la maîtresse-tige un excès de poids plus grand par rapport au poids des colonnes d'eau refoulées.*

i, a. Fermeture anticipée de la soupape d'équilibre, produisant une augmentation de pression de la vapeur qui, enfermée au-dessous du piston, se trouve comprimée par sa descente. *Cette compression doit commencer d'autant plus tôt que la tige a acquis, sous l'influence de son excédant de poids, une accélération plus grande.*

Considérons maintenant le diagramme pris sur la face résistante du piston — c'est la courbe S' — et dans cette courbe considérons la partie *a' b' c'* qui représente le travail de la vapeur sur la face résistante du piston, pendant la levée de la maîtresse-tige.

Levée de la maîtresse-tige. a', b'. — Au départ, la soupape d'échappement venant de s'ouvrir, la pression tombe de ce qu'elle était à la fin de la course descendante, à la pression du condenseur.

b', c'. Cette pression se maintient pendant toute la montée des tiges.

Descente de la maîtresse-tige. — Pendant la descente de

la maîtresse-tige, le travail résistant produit par la vapeur sur la face résistante est représenté par la courbe *c' d' a'*.

c', *d'*. Dès que la soupape d'équilibre est ouverte, la vapeur (dont la pression, par suite de la fermeture anticipée de cette soupape à la course précédente, avait monté jusqu'en *a*) passe au-dessus du piston et fait monter la pression de *c'* à *d'*. La pression, qui était celle du condenseur, devient la pression d'équilibre.

d', *a'*. Cette pression d'équilibre, une fois établie, se maintient tout le temps de la descente des tiges. On remarquera que la pression sur la face résistante du piston est toujours — et pendant tout le temps de la descente — inférieure à celle qui existe sur l'autre face, de toute la hauteur comprise, pour chaque point de la course, entre les courbes *c' d' a'* et *f*, *g*, *h*, *a*. Cela vient de ce que le poids libre des tiges dépassant toujours un peu le poids des colonnes d'eau refoulées et le poids nécessaire pour vaincre les résistances passives, on doit — comme on l'a vu précédemment — annuler l'effet de cet excès de poids par un excès de pression, en étranglant la vapeur d'équilibre.

Travail de la vapeur. — Pour calculer le travail de la vapeur dans le cylindre en se servant des diagrammes, on voit, d'après ce qui précède, que :

1° pendant la levée des tiges, le travail développé par la vapeur est mesuré en kilogrammètres par la surface *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *c'*, *b'*, *a'*, comprise entre les deux courbes qui mesurent la pression de la vapeur sur les deux faces du piston, pour chaque instant de la course. Tout ce travail est fourni par de la vapeur prise aux chaudières de A en E et qu'on laisse détendre de E en F.

2° Pendant la descente des tiges, le travail résistant produit par la vapeur, est mesuré en kilogrammètres par la surface *akgf*, *c' d' a'* comprise entre les deux courbes qui mesurent la pression de la vapeur sur les deux faces du piston, pour chaque instant de la course. Ce travail résis-

tant est fourni par la *vapeur d'équilibre*, vapeur qui remplissait le cylindre au-dessous du piston à la fin de la course ascendante des tiges.

Je ferai remarquer que, si l'on divise le nombre de kilogrammètres représenté par cette surface S″, par la levée de la maîtresse-tige, on aura la valeur en kilogrammes de l'excès du poids libre de la maîtresse-tige sur le poids nécessaire pour équilibrer les colonnes d'eau refoulées et vaincre les résistances passives. C'est par conséquent tout le travail et par suite toute la consommation de vapeur représentée par S″ — surface hachée — qu'on économise en employant l'appareil Bochkoltz.

Si en effet, après s'être ainsi rendu compte de tout ce qui précède, on revient au diagramme obtenu à la machine du nord de Charleroi — diagramme n° 6 de la Pl. VI — on voit que cette surface S″ s'y trouve réduite à presque rien.

Calcul du travail au moment de l'expérience. — Pour calculer le travail développé par la vapeur, nous avons d'abord déterminé, au moyen du diagramme, les tensions moyennes de la vapeur dans le cylindre : pour cela nous avons divisé la longueur de la course en seize parties égales et mesuré les tensions correspondant à chaque point de division, puis calculé la tension moyenne par la formule de Thomas Simpson.

Les résultats ainsi obtenus sont les suivants :

A la montée du piston :

	atmosphères.
Tension moyenne absolue de la vapeur, en dessous du piston.	1,740
Tension moyenne en dessus.	0,322

A la descente du piston :

Tension moyenne absolue de la vapeur, en dessous du piston.	0,873
En dessus.	0,782

Le diamètre de la tige du piston étant de $0^m,165$, la surface utile du piston est, pour la face inférieure :

$$3,14 \times \left(\frac{\overline{1.400}^2 - \overline{0,165}^2}{4}\right) = 1^{m2},51,79.$$

A la montée, l'effort exercé par la vapeur sur le piston est de 22.384 kilog. dont voici le détail :

	kilogrammes.
Pression moyenne sur la face inférieure : $1^{m2},5179 \times 1^k,033 \times 1,740 =$	27.283
Pression de l'atmosphère extérieure sur la tige : $0^{m2},02.14 \times 1,033 \times 1$. . . .	221
Pression totale sur la face inférieure.	27.504
Contre-pression au-dessus du piston : $1^{m2},5393 \times 1^k,033 \times 0^{at},322 =$	5.120
Pression effective sur le piston montant.	22.384

Travail moteur. — Le travail moteur développé pendant la course entière est donc de

$$22.384^k \times 2^m,300 = 51.483 \text{ kilogrammètres.}$$

Mais si l'on se reporte au diagramme on voit que l'admission de la vapeur ne commence pas exactement au point A, mais un peu plus tard, en B, attendu que le piston, pendant l'arrêt, remonte lentement sous l'influence combinée de la vapeur comprimée à la tension $Aa = 1^{at},35$ et du poids Bochkoltz qui est un peu trop lourd : pour avoir le travail moteur réellement dépensé, il faut donc retrancher du travail total précédemment considéré le travail représenté par *O K C B*, travail qui est de 1.223 kilogrammètres calculés comme suit :

	kilogrammes.
Pression sous le piston : $1^{m2},5179 \times 1^{k},033 \times 2^{at},62$. .	41.082
Pression sur la tige du piston. . . . . =	221
Pression totale sur la face inférieure.	41.303
Contre-pression au-dessous du piston : $1^{m2},5393 \times 1^{k},033 \times 0^{at},40$	6.360
Pression effective sur le piston montant.	34.943

La hauteur dont remonte le piston avant l'ouverture de l'admission étant de $0^{m},035$, le travail correspondant est :

$$34.943 \times 0^{m},035 = 1.223 \text{ kilogrammètres.}$$

En résumé donc :

Le travail moteur brut développé par la vapeur pendant la levée des tiges, relevé sur le diagramme même, est de 50.260 *kilogrammètres.*

Voyons maintenant comment est employé ce travail brut.

Travail utile des pompes. — 1° Il sert à élever l'eau dans les pompes, travail qui représente 40.405 kilogrammètres calculés de la manière suivante :

	kilogrammes.
Poids des colonnes d'eau refoulées, calculé précédemment.	16.399
Poids de la colonne d'eau contenue dans la pompe aspirante élévatoire, dont la hauteur totale, *au moment des expériences*, était de 16 mètres : $0^{m},08,55,30 \times 1.000^{k} \times 16^{m},000$. .	1.369
Poids des colonnes aspirées par les quatre jeux foulants, calculé précédemment. . . . . =	71
Poids total des colonnes d'eau.	17.839

La levée des pompes est de $2^{m},300$; mais puisque la tige remonte de $0^{m},035$ avant l'admission de la vapeur, la levée doit être réduite à $2^{m},265$, et *le travail utile des pompes est de :*

$$17.839 \times 2^{m},265 = 40.405 \text{ kilogrammètres.}$$

Travail nécessaire à la pompe à air. — 2° Il sert à faire fonctionner la pompe à air, ce qui absorbe un travail de 2.018 kilogrammètres, dont le calcul ne présente pas assez d'intérêt pour être reproduit ici.

Contre-pression à la descente de la maîtresse-tige. — 3° Il fait passer au-dessus du piston, pendant la descente des tiges, la vapeur contenue sous le piston, et, vers la fin de la course descendante, il comprime la vapeur contenue dans l'espace nuisible.

En effet, bien que la soupape d'équilibre ait une section plus grande que dans les machines ordinaires, le diagramme montre qu'elle est encore insuffisante pour faire disparaître entièrement l'excès de pression de la vapeur sous le piston par rapport à celle de dessus. La différence des tensions moyennes est de 0^{at},091 pour toute la surface *a*, *i*, *h*, *g*, *f*, *c'*, *d'*, *a'* ; et, si l'on considère isolément la surface *i*, *h*, *d'*, *i'*, on voit que la différence des tensions moyennes n'est que de 0^{at},047 pendant toute la partie correspondante de la course, ce qui veut dire que, grâce à l'emploi du régénérateur de force, l'excès de poids des tiges sur les colonnes d'eau a pu être très-réduit. La résistance créée par la soupape d'équilibre à l'écoulement de la vapeur et la compression absorbent un travail exprimé par 3.393 kilogrammètres, dont il n'y a d'utilisé pour la levée des tiges à la course suivante que la portion correspondant à la surface *a i i' a'* qui représente un travail de 907 kilogrammètres.

Travail des résistances passives. — 4° Enfin il surmonte toutes les résistances passives, dont le travail représente précisément la différence entre le travail brut total et la somme des travaux calculés ci-dessus, c'est-à-dire :

$$50.260 - 45.816 = 4.444 \text{ kilogrammètres.}$$

En résumé donc, le travail total produit par la vapeur se répartit comme suit :

	TRAVAUX PARTIELS.	POUR 100 du travail brut.
	kilogrammètres.	pour 100.
Travail utile des pompes.	40.405	80,40
Travail nécessaire à la pompe à air. . .	2.018	4,02
Travail utilisé pour la compression de la vapeur dans l'espace nuisible. . .	907	1,80
Travail absorbé par l'écoulement de la vapeur au travers de la soupape d'équilibre, non utilisé et constituant une perte réelle, mais qui pourrait être évitée en donnant à la soupape d'équilibre une plus grande section. .	2.486	4,94
Travail des résistances passives . . .	4.444	8.84
Total.	50 260	100,00

Rendement de la machine.—Le rendement de la machine, c'est-à-dire le rapport du travail utile réalisé au travail brut dépensé est donc de 80,4 *p.* 100.

Si la section de la soupape d'équilibre était plus grande, la perte de travail de 2.486 kilogrammètres disparaîtrait, et le travail brut à dépenser se réduirait à

$$50.260 - 2.486 \text{ kilogrammètres} = 47.774 \text{ kilogrammètres},$$

ce qui porterait le rendement de la machine à

$$\frac{40.405}{47.774} = 84,6 \text{ p. } 100.$$

Détente mixte. — Si l'on se reporte au diagramme n° 6, on voit que, même pendant la période d'admission, c'est-à-dire jusqu'au point E, la vapeur agit avec une détente assez prononcée. Cette détente est due à l'action accélératrice du régénérateur pendant la première moitié de la course. En effet, si l'on examine comment les choses se passent, on voit que le mécanicien règle l'ouverture du modérateur de manière à ce que le piston fasse la levée entière ; mais la section du modérateur ainsi ouverte ne peut laisser passer, en un temps donné, qu'un certain volume de vapeur, tandis que le piston décrit un volume plus grand, en raison de la force accélératrice que lui commu-

nique le régénérateur : il s'opère donc, pendant l'admission même, une certaine détente qui peut être appelée une *détente mixte.* Cette détente permet de produire, avec un même poids de vapeur, plus de travail que si celle-ci agissait sans détente pendant l'admission, c'est-à-dire à la manière ordinaire. De là résulte une économie de vapeur qui n'est pas sans importance ainsi que je vais le montrer.

Économie de vapeur produite par cette détente mixte. — En effet, comparant le travail réellement dépensé pendant l'admission pleine (travail représenté sur le diagramme par la surface $b_1 . b . c . d . e . e_1$) au travail que la vapeur aurait produit pendant la même longueur de course BE, en conservant une tension constante et égale à la tension en E (tension qui est de $1^{at},81$), on a le travail produit par la détente mixte qui est représenté par la surface $e'' . c . d . e$, et dont la valeur se calcule comme suit :

Tension moyenne de B en E. . . $= 2^{at},245$
Tension en E. . , ... $= 1^{at},810$
Tension moyenne de la portion
e''cde du diagramme. . . . . . $2^{at},245 - 1^{at},810 = 0^{at},435$
Longueur BE de la course pendant laquelle
agit cette tension. . . . . $1^{m},000$
Travail de la vapeur sous le piston :
$0^{at},45 \times 1^{k},033 \times 1^{m2},51 . 79 \times 1^{m},000 = 6.821$ kilogrammètres

Donc, sans cette détente mixte, le travail brut total développé par la vapeur aurait été de 43.439 kilogrammètres (= 50.260 — 6.821), et la dépense de vapeur nécessaire pour produire le travail brut de 50.260 kilogrammètres, sans détente mixte, aurait dû être plus grande dans le rapport de 43.439 : 50.260. En d'autres termes, *la dépense de vapeur est réduite par la détente mixte, dans le rapport de* 50.260 : 43.439 *c'est-à-dire de* 13,57 p. 100 :

$$\left(= \frac{50.260 - 43.439}{50.260}\right).$$

Économie totale de vapeur due à l'emploi du régénérateur. — D'autre part, comme déjà, du fait seul de l'augmentation de rendement — qui est d'au moins 18 à 20 p. 100 (voir plus loin), — on économise 18 à 20 p. 100 de vapeur, on voit qu'au minimum, la machine de Charleroi donne une économie totale de vapeur d'environ 30 p. 100.

En effet, si on représente par 100 la dépense de vapeur d'une machine sans régénérateur de force, cette dépense n'est pour une machine avec régénérateur de force que de :

$$[100-18]\times[1,00-0,1357]=82\times0,8643=70,87.$$

Ainsi donc *au total la machine de Charleroi comparée à une machine semblable, non pourvue du régénérateur Bochkoltz, économise* 30 *p.* 100 *de vapeur et par suite* 30 p. 100 *de combustible.*

Excès de poids des tiges. — Si l'on se reporte au diagramme, on voit que la partie non utilisée du travail — surface $a.i.h.g.f.c'.d'.a'$ — est de 3.393 kilogrammètres. En divisant ce travail par la longueur de la course, on trouve, pour l'excès de poids de la maîtresse-tige : $\dfrac{3.393}{2^{m},30}=1.475$ kilogrammes, dont il faut retrancher les 20 kilogrammes qui représentent l'effort moyen produit à la descente par la pompe à air. Or la pesée directe de toutes les parties constituantes de la tige, n'a donné qu'un excès de poids de 728 kilogrammes égal 4,1 p. 100 du poids des colonnes d'eau. Cette différence doit provenir de ce que le balancier à contrepoids, et par conséquent le poids oscillant, sont placés un peu trop bas, ou que la bielle d'attelage est un peu trop longue, ce qui fait décrire au balancier des angles inégaux de part et d'autre de l'horizontale passant par son axe.

Exagération du poids oscillant. — J'ai dit précédemment que le poids Bochkoltz était un peu trop lourd et qu'il con-

tribuait à faire remonter les tiges de 35 millimètres environ avant l'admission de la vapeur ; voyons dans quelle proportion ce poids est exagéré.

La pression de la vapeur comprimée sous le piston, par suite de la fermeture anticipée de la soupape d'équilibre est de $1^{at},35$ (voir le diagramme), et elle produit sur le piston un effort de :

	kilogrammes.
$1^{m2}51.79 \times 1^{k}033 \times 1^{at},35$.	= 21.168
auquel s'ajoute l'effet de la pression atmosphérique sur la tige du piston.	221
Total.	21.389
dont il faut déduire la contrepression avant l'ouverture du condenseur, qui est de : $1^{m2},53,93 \times 1^{k},033 \times 0^{at},79$	= 12.562
Il reste donc un effort effectif de.	8.827

Mais aussitôt que le condenseur est mis en communication avec le cylindre, la contrepression tombe à $0^{at},40$, et l'effort exercé par elle sur le piston à :

$$1^{m2},53.93 \times 1^{k},033 \times 0^{at},40 = 6.360^{k},$$

Ce qui laisse comme effort effectif sur la face inférieure du piston, un effort de :

$$21.389 - 6.360 = 15.029^{k}.$$

Le poids oscillant, de son côté, est de 34.400 kilogrammes en chiffre rond, son bras est égal à ceux du balancier contrepoids, il produit sur la maîtresse-tige, au commencement de la montée, une force supplémentaire :

$$F = \frac{34.400^{k} \times \sin\alpha\cos\beta}{\cos(\alpha+\beta)}.$$

α étant le demi-angle d'oscillation du balancier $= 18°54'6''$,

β étant l'angle que fait la bielle avec la verticale $= 2°0'4''$,

d'où $F = 11.920^{k}$.

L'effort total tendant à faire remonter la maîtresse-tige, lorsqu'elle est au plus bas de sa course est donc de :

$$8827 + 11.920^k = 20.747^k$$

avant l'ouverture du condenseur, et de :

$$15.029 + 11.920 = 26.949^k$$

après l'ouverture du condenseur.

Or l'effort moyen qui produit la levée de la maîtresse-tige est de :

$$\frac{50.260}{2^m,265} = 22.190^k.$$

Donc, dès que la communication avec le condenseur est ouverte, la maîtresse-tige doit remonter, avant même qu'on introduise la vapeur. Pour empêcher cette remonte spontanée, il faudrait réduire de 4.759 l'action du poids oscillant, ou l'action de la vapeur comprimée en faisant commencer plus tard la compression.

Rendement théorique de la machine. — Pour mettre en évidence l'influence du Bochkoltz, je vais calculer le *rendement théorique* de la machine sur laquelle nous avons opéré, dans le cas où elle ne serait pas pourvue de Bochkoltz. Pour cela je prendrai tous les chiffres calculés dans le chapitre III, qui se rapportent aux conditions moyennes de marche, conditions peu différentes de celles que nous avions au moment de l'expérience.

Travail utile. — Le travail utile des pompes :

$$T_u = (p + P_1 + P_2) \times 2^m,300,$$

c'est-à-dire

$$(16.400^k + 1.056^k,283 + 70^k,685) \times 2^m,300 = 40.312 \text{ kilogrammètres.}$$

Travail de la vapeur. — Le travail brut à développer par la vapeur T_m pendant une excursion, doit être égal au pro-

duit de l'effort total à développer pour la levée des tiges, par la hauteur de la levée; ce serait donc pour la machine supposée sans Bochkoltz (voir précédemment) :

$$F \times 2^{m},300 = 26.792^{k} \times 2^{m},30 = 61.622 \text{ kilogrammètres.}$$

tandis que, pour la machine pourvue du Bochkoltz, on a :

$$F' \times 2^{m},300 = 20.027^{k} \times 2^{m},300 = 46.062 \text{ kilogrammètres.}$$

D'après cela le rendement théorique ou l'effet utile calculé de la machine serait, pour la machine supposée sans Bochkoltz :

$$\frac{T_u}{T_m} = \frac{40.312}{61.622} = 0,654,$$

et pour la machine pourvue de Bochkoltz :

$$\frac{T_u}{T_m} = \frac{40.312}{46.062} = 0,875.$$

Ainsi donc l'augmentation de rendement due à l'appareil Bochkoltz est de 22 *p.* 100.

V. — Conclusion.

La meilleure conclusion que je puisse donner à cette étude sur l'appareil Bochkoltz, c'est de comparer sous forme de tableau les conditions dans lesquelles marcherait la machine que nous venons d'étudier, si elle n'était pas pourvue de l'appareil, à celles dans lesquelles elle marche avec cet appareil.

	MACHINE Supposée sans Bochkoltz.	MACHINE avec Bochkoltz.
Données. Hauteur totale de refoulement .... 232 mètres.		
Poids de la colonne refoulée .... 16.400 kilogrammes.		
Rapport des surfaces supérieures et inférieures des clapets .... $\frac{1.343}{1}$		
Conditions de marche théoriques.		
Poids de la maîtresse-tige à laisser non équilibré	23.588 kilogrammes.	17.138 kilogrammes.
Poids libre minimum nécessaire se décomposant comme suit :		
Poids faisant équilibre aux colonnes d'eau refoulées	16.400 k. = 69,54 p. 100 du total	16.400 k. = 95,70 p. 100 du total
Poids nécessaire pour vaincre les résistances passives	738 = 3,12 —	738 k. = [illegible],03 —
Poids nécessaire pour déterminer l'ouverture des clapets de refoulement ..	6.450 = 27,34 —	» »
Total	23.588 k. = 100,00 p. 100 du total	17.138 k. = 100,00 p. 100 du total
Diminution du poids libre brut de la maîtresse-tige due à l'emploi de l'appareil Bochkoltz	....	6.450 k. = 27,3 p. 100 du poids libre nécessaire sans Bochkoltz
Excès de poids du poids libre sur le poids des colonnes d'eau refoulée ...	7.188 kilogrammes.	738 kilogrammes.
Fraction du poids de l'eau refoulée que représente cet excès de poids	43.82 p. 100 du total.	4,5 p. 100.
Rapport du poids libre au poids de l'eau refoulée	1.438 : 1	1,045 : 1.
Rapport du poids libre nécessaire sans Bochholtz au poids libre avec Bochkoltz	1,376 à	1
L'excès de poids du poids libre sur le poids des colonnes d'eau refoulée, pour ouvrir les clapets, représente :		
Par rapport au poids de l'eau refoulée	39,22 p. 100.	»
Par rapport au poids libre total	27,34 p. 100.	»
Travail théorique à développer par la vapeur pour élever la maîtresse-tige = T_m.	61.622 kilogrammes.	46.062 kilogrammes.
Réduction de ce travail due au Bochkoltz	15.560 k. = 25,5 p. 100 de	l'effort sans Bochkoltz.
Rapport des travaux sans et avec Bochkoltz	1.329 à	1.
Travail utile *moyen* des pompes, mesuré en eau élevée = T_u	40.312 kilogrammètres.	40.312 kilogrammètres.
Rendement théorique calculé	65,4 p. 100.	87,5 p. 100.
Augmentation de rendement due au Bochkolz	....	22,1 p. 100.
Résultats des expériences.		
Travail utile des pompes au moment des expériences — T'_u	....	40.405 kilogrammètres.
Travail moteur brut, réellement fourni par la vapeur pendant une excursion double, mesurée au diagramme — T'_m	....	50.260 kilogrammètres.
Rendement pratique de la machine donné par les expériences	....	80,4 p. 100.
Rendement de la machine dans le cas où la section de la soupape d'équilibre serait suffisante	....	84,6 p. 100.
Rendement pratique probable sans Bochkoltz	< 60 p. 100.	
Augmentation de rendement due au Bochkoltz	....	20 p. 100.
Économie de vapeur et par suite de combustible résultant de l'augmentation de rendement, et de la détente mixte	....	30 p. 100.

De tout ce qui précède, il résulte que les avantages *bien constatés*, qu'on obtiendra de l'application du régénérateur de force dû à M. Bochkoltz, peuvent se résumer comme suit :

1° Une réduction importante du poids libre de la maîtresse-tige, réduction qui a pour conséquence :

Au point de vue des frais de premier établissement, une diminution notable dans les frais d'établissement de la tige et de la machine ;

Au point de vue des frais d'exploitation, une diminution proportionnelle dans la dépense de travail moteur, et par suite dans la consommation de charbon, diminution qui augmentée encore par la détente mixte, constitue une économie totale en vapeur et en combustible de 30 p. 100 environ.

2° Une augmentation sensible de la vitesse de marche, par suite du nombre plus grand de levées par minute, et par conséquent augmentation de la puissance effective de la machine.

3° Une sécurité et une régularité de marche plus grandes : l'étendue des levées étant très-exactement limitée par l'action du poids oscillant, et la maîtresse-tige ne pouvant jamais heurter contre ses arrêts. De ce fait, diminution importante des frais d'entretien.

Ce sont là assurément trois avantages dont les exploitants de mines ne sauraient méconnaître l'importance.

Paris, 20 avril 1872.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE V.

Fig. 1, 2 et 3. Diagrammes indiquant les variations de pression de l'eau dans la chapelle des pompes de refoulement pendant une excursion double de la maîtresse-tige.

Fig. 1. Diagramme de M. Kraft. — *Fig*. 2 et 3. Diagrammes pris sur la pompe n° 5 du puits Kubeck à Kladno (Bohême).

La flèche R indique la marche du piston pendant le refoulement, et la flèche A sa marche pendant l'aspiration.

Fig. 4 et 5. Appareil Bochkoltz à air comprimé avec courbes figurant les variations de pression de l'air sur les deux faces du piston. La surface couverte de hachures horizontales représente le travail de la détente, celle couverte de hachures verticales représente le travail de la compression.

Fig. 6. Appareil Bochkoltz à poids oscillant. Tracé géométrique.

Fig. 7. Courbes représentant les variations de la vitesse moyenne par seconde de la maîtresse-tige de la machine du Nord de Charleroi pendant une course double complète.

Fig. 8. Courbe représentant à plus grande échelle les mêmes variations pendant le temps d'arrêt qui suit la descente et précède l'admission de vapeur.

PLANCHE VI.

Fig. 1, 2, 3 et 4. Disposition générale de la machine d'épuisement établie à la fosse n° 1 du Nord de Charleroi, machine pourvue de l'appareil Bochkoltz à poids oscillant.

Fig. 5, 6, 7 et 8. Diagrammes montrant le travail de la vapeur dans les machines d'épuisement ordinaires à détente et condensation.

N° 1. Machine d'Égarande à Rive-de-Gier. — N° 2. Machine de Sainte-Colette à Rive-de-Gier. — N° 3. Machine du Moulin aux mines d'Anzin. — N° 4. Machine de Villars aux mines d'Anzin.

Fig. 9. — Diagramme théorique résumant toute la série des faits révélés par les précédents.

Fig. 10. — Diagramme relevé sur la machine du Nord de Charleroi, pourvue de l'appareil Bochkoltz, avec lignes ponctuées réunissant aux points correspondants du diagramme précédent tous les points remarquables des courbes obtenues.

NOTICE

SUR LES TRAVAUX DE M. L. E. RIVOT,

Ingénieur en chef des mines.

M. Rivot (Louis-Édouard), né à Paris, le 12 octobre 1820, fit ses études au collége Louis-le-Grand et, après avoir passé une année à l'École centrale des arts et manufactures, fut admis le 46ᵉ, en 1840, à l'École polytechnique. Dès le premier classement trimestriel, il obtint le n° 1 de sa promotion, le céda une seule fois à l'un de ses camarades, pour le reprendre immédiatement et le conserver jusqu'à la sortie. Ce succès lui mérita le prix de madame la marquise de Laplace, qu'il reçut à la séance de l'Académie des sciences du 26 février 1844. Il se maintint également au premier rang à l'École des mines, et le ministre des travaux publics lui adressa un témoignage de contentement pour les brillants examens qu'il soutint avant d'être nommé aspirant-ingénieur des mines. Presque aussitôt après et sans quitter l'École des mines, M. Rivot fut désigné pour y professer un cours de chimie élémentaire.

Dans cette position, il montra, malgré sa jeunesse, que la confiance de ses chefs était parfaitement placée. Il eut bientôt la mission de réorganiser, sous la direction de M. Dufrénoy, alors placé à la tête de l'École, un bureau d'essais où l'industrie, l'agriculture et le commerce eurent désormais toute facilité pour faire analyser gratuitement les substances dont ils ont besoin de connaître la composition. En 1852, à l'âge de 32 ans, il succéda, dans la chaire de chimie, à M. Ebelmen, que la mort venait d'enlever brusquement à la science, et il conserva ce cours pendant le reste

de sa vie, qui devait, comme celle de son prédécesseur, être si courte.

Chargé d'initier les élèves de l'École des mines aux manipulations, il se trouvait en contact journalier avec eux. Le professeur ne tardait pas à devenir presque toujours un ami, et les relations, ainsi commencées au laboratoire, se continuaient alors même que les élèves avaient cessé de fréquenter l'École. Le maître les guidait encore dans les commencements de leur carrière, après avoir souvent contribué à leur faire obtenir une position honorable, et ses avis, qu'il ne refusait à aucun, étaient reçus avec respect et reconnaissance. Malgré des dehors qui pouvaient paraître sévères, M. Rivot se montrait dans l'intimité plein d'enjouement et d'abandon, et les élèves qui ont eu la bonne fortune de l'accompagner dans quelques-uns de ses voyages aiment à se rappeler sa gaîté. Sa loyauté inspirait, dès l'abord, l'affection et la plus entière sympathie aux personnes avec lesquelles il était en rapport. Aussi le laboratoire qu'il occupait à l'École devint promptement un centre, où se plaisaient à se réunir les anciens élèves, amenés par leurs affaires à Paris, que la reconnaissance attirait près de lui. Conservant le souvenir de l'influence que le professeur avait acquise sur eux, ils s'empressaient, avant d'entreprendre un travail exceptionnel, de le consulter, assurés de ne pas recourir en vain à son expérience. Ces élèves n'étaient point, d'ailleurs, les seuls qui lui demandaient des conseils, et le nombre est grand des industriels qu'il a aidés dans le cours de sa carrière.

Le temps que M. Rivot ne consacrait pas aux soins du professorat, il l'employait assidûment à approfondir ses connaissances et à rédiger des mémoires scientifiques. Ces mémoires, dont plusieurs sont devenus classiques, ont, chaque année, on peut le dire, marqué les diverses époques de son existence. Ils contiennent une analyse des observations recueillies dans de nombreuses visites aux principaux

centres métallurgiques, qui lui avaient permis de se mettre au courant des meilleures méthodes employées soit dans les mines, soit dans les usines, et de contrôler par la pratique ce que la théorie lui avait appris. Pendant les voyages auxquels il a consacré, tous les ans, une grande partie de ses vacances de l'École, il étudia les richesses minières et les systèmes d'exploitation qu'offrent la Styrie, la Transylvanie, la Hongrie, la Westphalie, la Belgique, le Harz et une partie du nord de l'Espagne. Il parcourut également la plupart des mines de la France, notamment en 1848, sur l'ordre du ministre des travaux publics, comme adjoint à M. Gruner, dans une mission qui leur fut confiée, lorsque plusieurs sociétés industrielles réclamèrent l'assistance du gouvernement. Enfin il se rendit, à deux reprises, aux mines de cuivre et d'argent du lac Supérieur, aux États-Unis d'Amérique.

Ses études de cabinet ne sont pas moins nombreuses que celles auxquelles il s'est livré sur le terrain, pendant ses excursions. A peine sorti comme élève de l'École des mines, il avait, en collaboration avec son camarade et ami, M. Phillips fait de nombreuses expériences sur un procédé de traitement métallurgique des minerais de cuivre ; ils publièrent le résultat de leurs essais dans un mémoire que l'Académie des sciences a approuvé, sur le rapport de M. Pelouze, et qui, soumis ensuite à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, fut récompensé par une médaille de platine.

M. Rivot n'hésita pas cependant à modifier plus tard le principe sur lequel est basé ce travail, lorsqu'instruit par une pratique plus complète des lois de la chimie et de la métallurgie, il se livra aux expériences sur les minerais d'or et d'argent que nous allons citer ; mais rappelons auparavant qu'il dirigea, comme ingénieur-conseil, une usine à zinc en Belgique, dont les troubles apportés à l'industrie par les événements de 1848 firent bientôt cesser l'exploitation.

deux ans après, appelé à la même position près d'une société qui exploite les filons métalliques de Vialas et du Rouvergue, sur les limites de la Lozère et du Gard, il put y étudier la classification exacte des filons de plomb et d'argent de la contrée. Le mémoire où il a développé cette classification et donné la description des croisements, ainsi que les différences de composition, de richesse en plomb et en argent, qui sont en rapport avec la direction des filons, offre des aperçus entièrement neufs. Les recherches auxquelles il ne cessait de se livrer à Vialas l'ont conduit à supposer que les filons du Rouvergue font partie du même système, ce que la pratique lui a ensuite permis de démontrer par la découverte des filons de cette dernière localité, et il songeait à poursuivre ses reconnaissances sur d'autres points plus éloignés où, d'après son jugement, la même corrélation doit exister; mais il se vit dans l'obligation de renoncer à ce projet, dont il appréciait toute l'importance au point de vue de la science, et il abandonna, non sans de vifs regrets, la surveillance de l'exploitation des mines de Vialas. La mort l'a empêché de consigner par écrit de précieuses observations qu'il avait recueillies.

D'autres centres métallifères furent également l'objet de son attention, et l'examen qu'il en fit lui inspira des écrits dans lesquels il se distingue par la sureté de vue et la précision, aussi bien que par l'entente des méthodes d'exploitation et par un soin extrême à faire ressortir les caractères particuliers de chaque mine. Tels sont les mémoires sur l'Ober-Harz, la Hongrie, le Stolberg et enfin les bords du lac Supérieur, pays où il a reconnu que l'électricité a joué un rôle considérable dans la formation du dépôt de cuivre et d'argent natifs qui l'enrichit.

M. Rivot chercha également à se rendre compte des éléments nécessaires à la bonne composition des mortiers, particulièrement de ceux qui sont employés dans les constructions à la mer, et voulut, par une préparation mieux en-

tendue, prévenir leur destruction. Avec M. Chatoney, ingénieur en chef des ponts et chaussées, il put signaler les principes qui doivent être suivis et les précautions à prendre pour obtenir ce double résultat. Deux mémoires, présentés par eux sur ce sujet à l'Académie des sciences (9 juin 1856), furent jugés dignes d'être insérés au *Recueil des savants étrangers* et sont encore cités par toutes les personnes qui s'occupent de cette question si importante pour les travaux maritimes : le traité de docimasie en contient un résumé très-complet.

Ces travaux se rattachaient intimement à la chimie analytique, objet constant des études de M. Rivot. On a de lui sur cette matière de nombreux écrits, dans lesquels il a proposé de nouveaux procédés de dosage et d'analyse d'un usage général aujourd'hui et que sa *Docimasie* a également reproduits.

Nous ne ferons certainement pas un éloge exagéré de ce dernier ouvrage, en disant que M. Rivot s'y montre, plus que dans tous les autres, clair, précis, méthodique, attentif à mettre en garde contre le danger soit d'observations incomplètes, soit de généralisations qui ne seraient pas justifiées par une critique sévère. Bien qu'il parle souvent de ses propres découvertes, on le voit s'effacer toujours et n'avoir qu'un but, celui d'être utile aux autres. Il y a réuni tous les éléments des connaissances acquises depuis le commencement de sa carrière qu'il tenait à honneur d'enseigner aux auditeurs de son cours de l'École.

Ce livre donna la preuve d'un progrès très-sensible chez l'auteur, qui s'était déjà fait remarquer par un précédent ouvrage, d'une valeur peut-être moins grande, mais cependant accueilli très-favorablement dans le monde scientifique. Nous voulons parler des *Principes généraux du traitement des minerais métalliques*. Relatons ici comment M. Rivot fut amené à le rédiger, pour montrer à quel point il unissait la facilité du travail à l'étendue du savoir.

Au milieu des vacances de 1857, M. Rivot avait été prié de remplacer, dans la chaire de métallurgie, un de ses camarades de l'École des mines, gravement malade, et il se mit immédiatement en mesure de lui rendre ce service, sans négliger son propre cours. C'était se charger de quatre leçons par semaine. On se ferait difficilement une idée des efforts qu'il lui fallut déployer pour s'acquitter de cette double mission. Témoins du soin qu'il apportait, comme les années précédentes, dans l'enseignement de la docimasie, les élèves n'eurent pas lieu de s'apercevoir que M. Rivot était obligé, pour la métallurgie, de réunir et d'étudier à fond les matières de chaque leçon, au fur et à mesure qu'il avait à la faire, et de s'occuper néanmoins du cours de docimasie. A la suite de ce travail si fatigant, il eut encore la force d'écrire, en peu de temps, les deux volumes de son traité, qui fut aussitôt justement apprécié.

Ses connaissances complètes en chimie et une longue pratique des manipulations le mirent à même de contribuer, pour une large part, aux travaux préparatoires de la reconstruction de l'École des mines. On lui doit les nouveaux systèmes adoptés pour les fourneaux et les diverses autres dispositions techniques des laboratoires. Au moment de l'Exposition universelle de 1867, M. Rivot a donné, dans une notice, la description des plans de ces constructions, dont on demandait la communication, même de l'étranger, et qui depuis ont été adoptés dans plusieurs établissements de chimie.

M. Rivot se trouvait naturellement désigné au choix du gouvernement, lors de la formation des comités scientifiques appelés à prêter leur concours aux expositions universelles. Il fit partie du jury en 1855, 1862 et 1867; à la suite de l'exposition de cette dernière année, il rédigea, pour être insérée dans les rapports du jury international, une note sur l'exploitation et le traitement des minerais de plomb des sociétés industrielles qui s'étaient fait remarquer parmi les exposants.

L'administration des travaux publics le nomma souvent aussi membre de commissions auxquelles il apportait une participation sérieuse et dévouée. Les analyses qu'il fut chargé de faire, pour une de ces commissions réunie après la disette des années 1854 et 1855, sont relatées dans une note intéressante, qui contient des conseils très-utiles sur la manière de rechercher et de constater la nature des farines employées par la boulangerie et leur quantité par rapport aux pains fabriqués.

Tous ces travaux, accomplis dans un espace de temps relativement assez court et en dehors de ses fonctions à l'École des mines, ne pouvaient certainement rester sans influence sur l'organisation de M. Rivot. Malgré une énergie et une force peu communes, il sentait le besoin du repos ; mais, animé de la passion de l'étude, il ne put renoncer à poursuivre avec ardeur des expériences entreprises pour rechercher un nouveau mode de traitement des minerais d'or et d'argent. Ses tentatives, commencées depuis plus de douze ans, finirent par être couronnées de succès, et il se préparait à soumettre sa découverte au jugement de l'Académie des sciences, lorsque la maladie l'obligea à s'arrêter. M. Rivot, n'ayant pu rédiger qu'une partie de son mémoire, en a confié la fin à M. Moissenet, ingénieur des mines, qui, juste appréciateur de l'œuvre de son ancien professeur, s'est acquitté de cette mission avec le plus grand soin et en suivant religieusement les notes et les plans de l'auteur (*).

Il est curieux d'y voir à combien de tâtonnements et d'essais M. Rivot s'est livré dans le but d'appliquer aux minerais d'or et d'argent la méthode déjà étudiée par un autre de ses élèves et amis, M. Cumenge, ingénieur des

(*) Voir les comptes rendus de l'Académie des sciences, t. 72, n° 25 (26 juin 1871), et les *Annales des mines*, 6e série, t. XVIII (1870), p. 1.

mines, pour les minerais de cuivre, et d'arriver à traiter économiquement des substances très-pauvres ou abandonnées jusqu'à ce jour.

Des essais, interrompus à diverses reprises, se continuent encore d'après les instructions que M. Rivot avait données, et l'on doit espérer que l'on parviendra à mettre l'industrie en possession d'un moyen facile et peu dispendieux d'utiliser des richesses qu'on est actuellement obligé de négliger. Si sa méthode était adoptée, elle aurait une influence considérable sur la production des métaux précieux.

On ne peut malheureusement donner suite à des expériences dont M. Rivot avait commencé à préparer les éléments, au sujet de la formation artificielle des minerais cristallisés ; aucune de ses notes écrites n'indique comment il se proposait d'employer les appareils qu'il avait fait construire, et ses idées sont sans doute perdues pour la science.

Au milieu de l'année 1868, la terrible maladie à laquelle M. Rivot devait succomber se révéla subitement et ne laissa, dès le premier jour, aucune espérance aux médecins. M. Rivot était trop instruit et trop éclairé pour s'illusionner sur la gravité de son état, mais il lutta contre le mal, avec un courage et un calme qui ne se démentirent pas et qui faisaient l'étonnement des personnes dont il était entouré. Sans se laisser abattre par les étreintes de la douleur, il voulut descendre de son logement à l'École des mines jusqu'au laboratoire, tant que ses forces lui permirent de s'y rendre avec l'aide de deux amis. Ce laboratoire lui rappelait les travaux d'autrefois, et il y retrouvait des collègues et des compagnons d'études, qui, pleins d'attention, venaient, tout en cachant leurs inquiétudes, lui prodiguer les marques les plus délicates d'attachement et chercher à adoucir ses souffrances. C'est pour nous un devoir de rappeler ici que M. Rigout se montra toujours plein de dévouement pour lui et ne cessa de l'entourer de soins

affectueux. M. Rivot, dont la rare intelligence s'est conservée intacte jusqu'au dernier moment, put ainsi éprouver la satisfaction de recueillir le témoignage de l'estime que méritait si bien une vie toute d'honneur et de désintéressement.

De tous les ouvrages que M. Rivot a laissés, deux seulement, les plus importants, intitulés : *Principes généraux du traitement des minerais métalliques* et *Docimasie ou traité d'analyse des substances minérales*, font l'objet de publications séparées. Les autres ont été successivement insérés soit dans les *Annales des mines*, soit dans les *Annales de chimie et de physique*.

En réimprimant le *Traité de métallurgie*, il a paru utile de le faire suivre de la collection des mémoires qui se rapportent spécialement aux métaux et qui offrent le plus d'intérêt. M. Rivot désirait ajouter de nouvelles observations à ses premières études sur le cuivre, le plomb et l'argent, et compléter ce traité, comme il l'avait projeté dès le principe, en s'occupant du zinc, de l'étain, etc.; mais la mort l'a frappé avant qu'il ait eu le temps de mettre cette pensée à exécution.

Voici les titres des mémoires compris dans la nouvelle édition du *Traité de métallurgie* :

Notes sur le gisement des minerais de zinc et de plomb dans la haute Silésie;

Mémoire sur la houillère, les mines et l'usine à zinc du *Stolberg;*

Voyage en *Hongrie;*

Voyage au lac Supérieur;

Description de la préparation mécanique des minerais de plomb dans l'*Ober-Harz;*

Description des gîtes métallifères, de la préparation mécanique et du traitement métallurgique des minerais de plomb argentifère de *Pontgibaud;*

Mémoire sur les filons de galène argentifère de *Vialas;*

Mémoire sur un nouveau procédé de traitement des mine-

rais d'or et d'argent,—qui contient le récit des expériences auxquelles M. Rivot avait consacré les derniers temps de son existence;

On a ajouté à ces mémoires la note sur l'examen des *farines* et des *pains*, à cause de l'originalité des procédés d'analyse qui y sont employés et de la spécialité même de cette étude, d'ailleurs tout à fait étrangère aux travaux ordinaires de l'auteur.

Quant aux écrits qui restent en dehors de cette publication, la *Docimasie* les a résumés presque tous. Aussi, nous nous bornerons à en donner la liste ci-après (*):

Note sur la conductibilité électrique des principales roches à haute température, — avec M. Phillips.

Note sur l'analyse des alliages de cuivre et de zinc, — avec M. Bouquet. (*Annales de chimie et de physique*, 3ᵉ série, t. XXXIII, p. 24).

De l'emploi de l'hydrogène dans les analyses des substances minérales. (*Annales de chimie et de physique*, 3ᵉ série, t. XXX, p. 188).

Mémoire sur l'emploi du chlore dans les analyses, — avec MM. Beudant et Daguin. (Inséré au *Recueil des savants étrangers*, suivant décision de l'Académie des sciences du 5 décembre 1853).

Note sur les procédés de dosage du cuivre dans les minerais et les produits d'art.

Des procédés d'analyse qui peuvent être employés pour les terres végétales, les amendements et les engrais.

Extrait des travaux faits au bureau d'essais de l'École des mines, — avec MM. Beudant, Daguin et Bouquet.

Extraits de chimie, — années 1851-1857.

Analyse d'un diamant en masse amorphe et compacte, provenant du Brésil.

(*) L'ordre suivi est celui que l'auteur avait adopté dans une collection de ses écrits.

Analyse de différents échantillons d'or de la Californie.

Considérations générales sur les matériaux employés dans les constructions à la mer, — avec M. Chatoney.

Description d'un nouveau procédé de traitement métallurgique des minerais de cuivre, — avec M. Phillips.

Notice sur le forage du puits artésien de Mondorf et sur les nouveaux perfectionnements apportés par M. Kind aux instruments de sondage.

Exploitation et traitement des minerais de plomb. *Rapports du jury international de l'Exposition universelle de* 1867.

Note sur les laboratoires de l'École impériale des mines de Paris, 1867.

ESSAI DE PALÉONTOLOGIE DE L'OOLITHE INFÉRIEURE

DES BORDS SUD ET SUD-OUEST DU PLATEAU CENTRAL.

Par M. le docteur BLEICHER, docteur ès sciences.

Il est généralement admis que l'oolithe inférieure du revers sud et sud-ouest du plateau central de la France constitue un puissant dépôt dans lequel il n'est guère possible de retrouver les subdivisions paléontologiques de d'Orbigny.

Cette étude est destinée à prouver que l'on peut arriver dans la plupart des points que nous avons observés à y reconnaître deux étages distincts : le bajocien marin et le bathonien marin, lacustre ou fluvio-marin, avec une faune et une flore nouvelles.

Ce résultat repose sur de nombreux travaux qui sont ceux des savants auteurs de la carte de France, MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy (1); d'Émilien Dumas, pour le Gard (2); de MM. Parran (3), Reynès (4), Reynès et de Rouville (5), Vezian (6), Boisse (7), Magnan (8), pour l'A-

(1) *Description géologique de la France*, t. II, p. 695.

(2) *Réunion extraordinaire de la Société géologique*. Alais, 1846, p. 21.

(3) *Note sur les formations secondaires des environs de Saint-Affrique*, p. 21.

(4) *Essai de géologie et de paléontologie aveyronnaise*, 1868.

(5) *Carte géologique et notice sur l'arrondissement de Saint-Affrique*, 1858.

(6) *Prodrome de géologie*, t. I, p. 587, 1867.

(7) *Description géologique du département de l'Aveyron avec carte*. Paris, 1870.

(8) *Étude des formations secondaires des bords S.-O. du plateau central*. Toulouse, p. 59.

veyron, le Lot, le Tarn-et-Garonne; de M. de Rouville (1), pour l'Hérault. Nous y ajouterons nos propres observations sur différents points de ces départements et spécialement de l'Aveyron, qui, par la richesse extraordinaire de son bathonien marin et lacustre, nous a permis de distinguer au moyen de la paléontologie les deux étages dont nous venons de parler.

D'après les auteurs précédemment cités, l'oolithe inférieure commence soit par les grès à fucoïdes, soit et plutôt par la faune à *Ammonites murchisonæ*, *Gryphea sublobata*, etc., et elle finit par les couches marneuses à *Ammonites biplex* et *Belemnites hastatus*, horizons qui ont pour caractère commun d'être très-facilement reconnaissables et de s'étendre dans une très-grande partie de la France (2).

Ces deux limites doivent être gardées dans la géologie méridionale, mais ne peut-on pas subdiviser cette puissante série de dépôts qui se trouve intercalée entre elles en étages et même en sous-étages? M. Magnan a déjà essayé de le faire en 1869 (3), et il nous est possible de renouveler cette tentative avec les découvertes paléontologiques que nous avons faites dans l'horizon à lignite qui se sépare très-nettement de l'oolithe inférieure proprement dite, et doit être regardé comme l'équivalent du bathonien. C'est surtout à son étude que nous consacrerons une partie de ce travail, tout en insistant sur les caractères spéciaux de l'oolithe inférieure proprement dite (bajocien).

(1) *Thèse de doctorat ès sciences*. Montpellier, 1852, p. 146 et suivantes. — *Réunion extraordinaire de la Société géologique*. Montpellier, 1868, passim.

(2) *Bulletin de la Société géologique*, 2e série, t. XXVI, p. 353. — M. Fabre.

(3) *Étude des formations secondaires*, p. 58.

1° OOLITHE INFÉRIEURE PROPREMENT DITE (BAJOCIEN DE D'ORBIGNY).

Cet étage, dont la limite inférieure a été indiquée plus haut, se termine à sa partie supérieure par les couches ligniteuses du Lot, du Tarn-et-Garonne, du Larzac, du Gard, de la Lozère. Pour l'étudier, nous le suivrons sur les revers sud et sud-ouest du plateau central, en allant de l'ouest à l'est. Dans les départements du Lot, du Tarn-et-Garonne et sur la limite occidentale de l'Aveyron, il présente les caractères lithologiques suivants : à la base, calcaires noduleux, schisteux ; plus haut, calcaires compactes, souvent dolomitiques ou oolithiques, débutant par des couches pétries d'entroques, le tout d'une épaisseur de 60 mètres au moins. Les fossiles sont très-abondants vers la base, ce sont surtout : *Ammonites radians*, Schlot. ; *Murchisonæ*, Sow. ; *Gryphea sublobata*, Desh. ; *Trigonia striata*, Sow. ; *Ceromya bajociana*, d'Orb. ; *Madiola plicata*, Sow. ; *Rynconella tetraedra*, d'Orb., etc. Vers le nord, les calcaires noduleux deviennent ferrugineux ; c'est surtout à Béduer (Lot) et vers Tessier qu'ils ont ce caractère qui les rapproche des couches ferrugineuses de l'oolithe des environs de Nancy et d'Alsace (1).

L'horizon supérieur, calcaire ou dolomitique est moins riche en fossiles, ce sont surtout des Pentacrines, *P. bajocensis?* puis *Terebratula perovalis*, *Rynconella concinna*, *R. subtetraedra*, David ; *Ceratomya bajociana*, d'Orb. ; *Pecten disciformis*, Schübl., etc., *Nerinea anglica*.

Sur le revers oriental du massif granitique qui s'étend de Najac à Saint-Rome du Tarn, l'oolithe inférieure forme la base des escarpements du Larzac et présente des caractères un peu différents de ceux que nous venons de voir. Les grès schisteux à fucoïdes prennent la place des cal-

(1) *Bulletin de la Société géologique*, t. XXVI, p. 353.

caires marneux et noduleux ; l'horizon supérieur devient siliceux et dolomitique, aussi les fossiles sont-ils plus rares que sur le versant opposé (1).

Ces caractères se poursuivent sur l'escarpement méridional du Larzac, où nous avons constaté à la montée de l'Escalette et à celle d'Arboras près Lodève, le calcaire à entroques fossilifère contenant des Polypiers, des Bryozoaires, *Rynconella tetraedra?* au-dessus du grès à fucoïdes. Sur le versant oriental vers Saint-Jean du Bruel, le calcaire dolomitique et siliceux contient également des entroques et les fossiles suivants : *Terebratula perovalis*; *Rynconella cynocephala*, Richard; *Madiola Sowerbyana*, d'Orb.; *Pinna cuneata*, Phil; *Pecten pumilus*, Lamk; *Gresslya gregorea*, Raemer; *Ammonites Eduardianus*, d'Orb.; des *Polypiers*, *Isastrea sp. nova*, un Bryozoaire ; *Ceriopora globosa*, Michelin.

Au Saint-Loup, près de Montpellier, le calcaire à entroques se retrouve au-dessus des grès à fucoïdes avec une faune analogue et peut-être *Ostrea Marshii ?* et aux portes mêmes de Montpellier, M. de Rouville (2) l'indique dans cette même position stratigraphique.

Dans le département du Gard, les renseignements donnés par Émilien Dumas, consacrent cette division, et nous avons retrouvé près d'Alais et de Saint-Jean-du-Gard les mêmes polypiers et les mêmes bryozoaires que sur les escarpements du Larzac. Ces deux espèces *Isastrea sp. nova* et *Ceriopora globosa*, caractérisent très-bien, avec les entroques, le calcaire siliceux et dolomitique, et prouvent que dans le midi comme dans le nord il y a un horizon à polypiers. Dans le Gard enfin, comme dans les escarpements du Larzac, les grès à fucoïdes contiennent quelques rares fossiles, parmi lesquels il faut citer une Posidonia de

(1) *Essai de géologie et de paléontologie aveyronnaise.*—Reynès, p. 81.

(2) *Réunion extraordinaire à Montpellier*, p. 58.

grande taille différente de la *Posidonia Bronni*, qui se rencontre également dans la Lozère, d'après les renseignements que nous a donnés M. Fabre, qui s'occupe de la géologie de ce département. L'oolithe inférieure serait donc, sur les revers sud et sud-ouest du plateau central, réductible en horizons comparables entre eux et avec ceux du reste de la France.

2° ÉTAGE A LIGNITES (BATHONIEN).

Cet étage commence aux lignites qui ont été indiquées pour la première fois à Cadrieu, près de Cajarc, par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, les savants auteurs de la *Carte géologique de France* (1) ; plus tard MM. de Rouville et Marcel de Serres les retrouvèrent à la Cavalerie (Aveyron) (2) et prouvèrent qu'il y avait là une faune fluvio-marine composée de *Paludina*, *Melania*, *Cyrene*, *Cyclas*, *Unio*, *Mytilus*, *Avicula*, etc. Depuis ces premières recherches cette faune n'a plus été le sujet d'aucune étude spéciale, et les différents auteurs qui se sont occupés de la géologie de l'Aveyron n'ont rien ajouté à nos connaissances sur cet horizon si intéressant.

En 1868, non loin du gisement indiqué par les auteurs de la carte de France, à 4 kilomètres au nord de Cajarc sur la route de Figeac, nous retrouvions ces gisements, avec le caractère d'un dépôt lacustre intercalé au milieu de formations marines oolithiques inférieures. Les fossiles nombreux qui y furent trouvés, joints à une coupe très détaillée, furent envoyés à M. le professeur Sandberger, de Wurzbourg, qui inséra cette découverte dans son ouvrage en voie de publication sur les coquilles fossiles d'eau douce.

(1) *Explication de la carte géologique*, t. II, p. 695.
(2) D'Archiac. *Progrès de la géologie*, t. VI, p. 49. — *Académie de Montpellier*, 1849.

Nous croyons utile de donner ici la coupe détaillée que nous avons publiée en 1870 (1)

Du fond de la vallée du Lot au sommet du plateau, elle se compose des couches suivantes :

Schistes du lias supérieur avec fossiles nombreux.	
Calcaire marneux avec *Ammonites radians* Rein, *Terebratula Crithea* d'Orb.	15 à 20 mètres.
Calcaire compacte violacé à *Pentacrinites*. . . .	5 à 6 mètres.
Calcaire sableux gris sale avec *Pecten disciformis* Schübl.; *Avicula elegans* Münst.; *Trigonia striata* Ag.	10 à 15 mètres.
Calcaire cristallin bleuâtre en forme de dalles avec *Pholadomya*, *Terebratula perovalis* Sow, *Rynconella subtetraedra* David, *Ceromya bajociana* d'Orb.	20 à 30 mètres.
Alternances de schistes et de calcaires bruns bitumineux avec écailles de *Lepidotus*, graines de *Chara Bleicheri* Sandb., *Bithinia trochulus* (2) Sandb., *Paludina bulbiformis* Sandb., *Neritina bidens* Sandb., *Melania macrochiloïdes* Sandb. et dalles grises pleines de *Potamomya tristreata* Sandb.	20 à 25 mètres.
Calcaires marneux compacte, gris jaunâtre avec les mêmes fossiles.	4 à 8 mètres.
Calcaire rosé ou jaunâtre, compacte, souvent cristallin avec *Astarte compressiuscula* Morr., *Ostrea costata* Sow., *Terebratula intermedia* Sow., *T. ornithocephala* Sow, etc.	25 à 30 mètres.

Cette faune lacustre est composée d'espèces qui indiquent un climat tropical, car les *Néritines*, les *Mélanies* et

(1) *Thèse de doctorat ès sciences. Essai de géologie comparée des Pyrénées, du plateau central et des Vosges.* Colmar, 1870.

(2) La description de ces différentes espèces se trouve, pour les coquilles, dans l'ouvrage de M. le professeur Sandberger *Land und Süsswasser Conchylien*; pour les plantes, dans la *Paléontologie végétale du terrain jurassique* de M. de Saporta, en voie de publication.

les *Potamomyes* sont du groupe des espèces des régions chaudes des îles de l'océan Indien.

Cet horizon à lignites indiqué par M. Magnan (1) ne lui a pas donné de fossiles dans les départements du Tarn-et-Garonne et de l'Aveyron ; des recherches ultérieures pourront certainement y amener la découverte de nos espèces nouvelles dans les environs de Limogne par exemple, où il affleure de tous côtés.

Tandis que jusqu'ici cette formation a le caractère franchement lacustre, nous allons la voir plus à l'est, dans l'Aveyron et le Gard, présenter le type le plus complet d'un dépôt fluvio-marin. C'est sur le plateau du Larzac et sur les plateaux secondaires qui s'en détachent à l'est et au nord que le Bathonien fluvio-marin atteint son entier développement. Les gîtes étudiés par nous sont ceux de la Cavalerie, de la Liquisse, de la montée de la route de Lodève, près de Milhaud; ils sont indiqués (2) dans l'excellente carte du département publiée dernièrement par M. l'ingénieur Boisse.

A ces gîtes, situées dans l'Aveyron et où l'on exploite le lignite, il faut ajouter ceux des environs de Saint-Jean-du-Bruel, la Verrerie, Balmareles, Barjac, qui confinent au Gard.

Dans ces diverses localités il nous a été possible avec l'aide d'un amateur distingué de géologie, M. Julien de la Salle, de Saint-Jean-du-Bruel, de recueillir un grand nombre de fossiles et de renseignements stratigraphiques qui démontrent l'importance de cet étage.

En général il couronne les plateaux et débute par un calcaire dolomitique gris qui repose sur le calcaire dolomitique siliceux gris jaunâtre à *Pinna cuneata*, *Rynconnella cynocephala*, etc. (3). Cette assise est caractérisée par les

(1) *Étude des formations secondaires*, p. 58.
(2) *Description et carte géologique de l'Aveyron*, 1870.
(3) Voir page 6.

fossiles suivants : *Isastrea limitata*, Latmx; *Nerinea strick-landi*, Morr. Lyc; *Alaria trifida*, Phil., très-communs à Balmareles. Au-dessus se développe sur une épaisseur d'environ 30 mètres, une série de couches fluvio-marines au milieu desquelles se trouvent les couches ligniteuses, plus ou moins épaisses suivant les localités. Cet ensemble de calcaires marneux, de marne grumeleuse, de schistes bitumineux est recouvert par des calcaires gris compactes en dalles dans lesquels il est permis de voir le Callovien, car ce n'est qu'au-dessus qu'affleurent les couches à *Ammonites biplex* et *Belemnites hastatus*.

Le caractère fluvio-marin du Bathonien est tellement évident que vers la base, à la Liquisse et près de Milhaud, on trouve dans les mêmes bancs de calcaire marneux les fossiles suivants : *Pholadomya Héraulti*, Ag.; *Alaria trifida*, Phil. ; *Trigonia bathonica*, Lyc Morr. ; *Arca tenuistriata*, Morr. ; *Ceromya concentrica*, Sow. ; *Unicardium varicosum*, Sow; *Equisetum duvalii*, Sap. nov sp. ; tiges de Monocotylédones indéterminables.

Plus haut la faune fluvio-marine se continue au milieu des marnes grumeleuses, mais cependant il existe dans le voisinage des lignites un banc de schistes noirs bitumineux où la faune lacustre se trouve pure de tout mélange d'espèces marines avec la flore des Fougères et des Cycadées. C'est l'horizon des *Paludina bulbiformis*, Sandb. ; *Bythinia trachulus*, Sandb. ; *Cyrena lyrata* , Sandb. ; *Cypris avena*, Sandb. ; *Neritina bidens*, Sandb., qui constituent la faune lacustre de cet étage.

La faune marine se compose des espèces bathoniennes suivantes : *Natica haemispherica*, Roem. ; *N. Verneuillii*, d'Archiac; *N. pyramydata*, Morr. Lyc. ; *Nerinea Eudesii*, Morr. ; *Alaria trifida*, Phil. ; *Cardium obolus*, Sand. nov. sp. ; *C. subtrigonum*, Morr. Lyc. ; *Corbula attenuata*, Morr. ; *C. Agatha*, d'Orb. ; *Thracia amygdaloïda*, Morr. ; *Ceromya similis* Morr. ; *C. plicata*, Teg. ; *Pleuromya se-*

curta, Phil. ; *Modiola gibbosa*, Sow. ; *Ostrea Sowerbyi*, Morr. ; *Gervillia acuta*, Sow. ; *Pteroperna emarginata*, Morr. Lyc. Ces quatre dernières espèces forment de vrais bancs au milieu desquels un polypier *Cladophyllia Babeana*, d'Orb. sp. ; étend ses rameaux noueux.

Les vertèbres ne sont représentés jusqu'ici que par des dents palatines de *Sargus*, des écailles de *Lepidotus* et une dent de petit Saurien.

La flore se compose des espèces suivantes : *Equisetum duvalii*, Sap.; *Microdyction* (1) *ruthenicum*, Sap. ; *Microdyction Woodwardianum*, Sap.; folioles indéterminables d'*Otozamites* et de *Sphenozamites*.

Ce mélange d'espèces marines et d'espèces d'eau saumâtre indique, d'après M. Sandberger, une formation d'estuaire et des conditions climatériques semblables à celles qui se rencontrent à l'embouchure des rivières des îles Philippines, où l'on retrouve l'association des Pernes, des Huîtres avec les Cyrènes, les Néritines. Il en est de même d'ailleurs dans différents dépôts fluvio-marins, dans les schistes bitumineux calloviens de Loch Staffin en Écosse, et dans le miocène du bassin de Mayence.

Les espèces fluviales communes aux lignites du Lot, du Tarn-et-Garonne, de l'Aveyron et du Gard sont les suivantes : *Neritina bidens*, *Bythinia trochulus*, *Paludina bulbiformis*, *Cyrena*? Les strates qui les contiennent sont comprises entre des couches fossilifères à fossiles marins appartenant à la même période géologique; il est donc permis de les considérer comme des dépôts synchroniques

(1) Tous les fossiles végétaux et animaux de cet étage ont été déterminés et nommés par MM. de Saporta et Sandberger; nos fougères du Larzac s'éloignent suffisamment des espèces connues pour qu'il ait été nécessaire de créer pour elles le nouveau genre Microdyction (à petites nervures), dont la diagnose et la description paraîtront prochainement dans la *Paléontologie végétale jurassique* en voie de publication.

appartenant au Bathonien de d'Orbigny. Si les espèces de Cajarc ne se rencontrent pas toutes, jusqu'ici au moins sur le Larzac, cela dépend peut-être de ce que les conditions d'existence n'ont pas été les mêmes dans les deux cas ; les coquilles franchement fluviatiles de Cajarc ont pu ne pas se plier au milieu du Larzac où les eaux saumâtres paraissent avoir prédominé.

Le voisinage de terres, continents ou plutôt îles doit être admis pour expliquer la nature de cette faune et de cette flore, qui sont en relation intime avec l'existence de l'embouchure de rivières à courant peu considérable.

Où doit-on placer cette terre? Était-elle au nord, vers le plateau central, à l'est vers la vallée du Rhône, à l'ouest ou au midi? C'est ce que nous ne pouvons décider encore, cependant nous savons qu'à l'ouest, Cajarc est le point extrême où l'oolithe inférieure peut être observée, et qu'au midi rien n'indique l'existence d'un dépôt d'eau douce au niveau du Bathonien. En effet, au sud du Larzac sur le revers méridional de la montagne du Saint-Loup, cet étage est marin, calcaire, souvent dolomotique et siliceux, contenant de nombreux polypiers, des nerinées peu déterminables *Cidaris sublaevis* Cott., *Ostrea*, *Rynconella*, etc. Dans les environs de Montpellier, il a des caractères analogues (Gardiole), et paraît contenir des fossiles non encore étudiés. Dans ces deux cas le Bathonien est limité à sa partie supérieure par les calcaires schisteux, charbonneux, à fucoïdes, *Ammonites macrocephales*, *Belemnites*, *Terebratula*, *Ostrea*, etc. du Callovien.

La mer qui renfermait la faune du Larzac ne paraît donc pas s'être étendue dans les départements de l'Hérault avec ses caractères de hauts fonds et de voisinage des côtes. C'est dans une des deux autres directions qu'il faudrait placer la terre probablement insulaire, dont les eaux douces et saumâtres contenaient nos nouvelles espèces de coquilles.

Tels sont les caractères de l'oolithe inférieure sur les revers sud et sud-ouest du plateau central ; ils se résument ainsi :

Dans ces régions, l'oolithe inférieure constitue un ensemble d'une grande puissance, allant de 100 à 150 mètres.

Il est le plus souvent possible de le diviser lithologiquement et paléontologiquement en deux étages : Bajocien et Bathonien.

Le Bajocien a des caractères à peu près identiques dans toute la région observée, il devient de plus en plus siliceux, dolomitique et pauvre en fossiles, à mesure qu'on s'avance de l'ouest à l'est.

Il est toujours possible d'y distinguer deux sous-étages, l'inférieur à fucoïdes ou à faune très-riche (Ammonites Murchisonæ, Gryphea sublobata, etc.), le supérieur à calcaire siliceux ou dolomitique, contenant un horizon à Polypiers, et commençant par des bancs à Entroques.

Le Bathonien contient un horizon lacustre, fluvio-marin, ou est exclusivement marin ; dans le premier cas il est très-riche en fossiles ; dans le second cas il s'est montré jusqu'ici pauvre en débris organiques. La faune et la flore de cet horizon à lignites a des analogies avec celle des dépôts synchroniques de l'Angleterre et de l'Italie (Vérone) ; il y existe même un nouveau genre de fougères Microdyction, caractérisé par ses fines nervures.

Quant à la faune marine, elle est tout à fait analogue à celle du Bathonien de Normandie et d'Angleterre.

NOTE

SUR QUELQUES ESPÈCES MINÉRALES DU CHILI.

Par M. Émile BERTRAND, ancien élève de l'École des mines.

Parmi un assez grand nombre de minéraux que j'ai reçus du Chili se trouvent plusieurs espèces intéressantes.

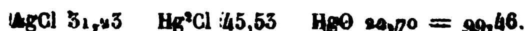
I. Je citerai en premier lieu une substance grenue, jaune, jaune orangé ou rouge, provenant de Los Bordos.

Cette substance se trouve à côté d'un chlorure d'argent, et renferme, disséminé à l'intérieur, un amalgame d'argent riche en mercure.

Elle est composée de : chlorure d'argent, chlorure de mercure et oxyde de mercure. Elle noircit très-rapidement à la lumière.

N'ayant que très-peu de cette substance, je n'ai pu en faire l'analyse qu'en opérant sur une très-faible quantité.

J'ai obtenu sur 100 parties :



$$AgCl\ 31{,}23 \quad Hg^2Cl\ 45{,}53 \quad HgO\ 22{,}70 = 99{,}46.$$

Il est facile de se convaincre que l'oxyde de mercure n'entre pas en combinaison avec les chlorures d'argent et de mercure, et que dans l'espèce minérale en question il n'est qu'adventif. Il y a donc lieu de reconnaître ici deux espèces minérales distinctes :

1° Un chlorure d'argent et de mercure renfermant :



$$AgCl\ 31{,}23 \quad Hg^2Cl\ 45{,}53$$

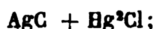
ou en centièmes :



$$AgCl\ 40{,}69 \quad Hg^2Cl\ 59{,}31 = 100;$$

2° Un oxyde de mercure correspondant à la formule HgO.

On peut admettre que le chlorure d'argent et de mercure correspond à la formule



$$AgC + Hg^2Cl;$$

cette formule conduirait aux proportions suivantes :

$$AgCl\ 37{,}86 \quad Hg^2Cl\ 62{,}14 = 100.$$

La différence entre ces derniers nombres et ceux de l'analyse, quoique sensible, est cependant négligeable si l'on tient compte des erreurs qui ont pu être commises dans une analyse faite sur une très-faible quantité du minéral.

La présence de l'amalgame d'argent semble prouver que ces deux espèces proviennent de la chloruration et de l'oxydation de cet amalgame.

L'analyse tend également à le prouver, car l'amalgame $AgHg^3$ donnerait par chloruration et oxydation :

$$AgCl\ 29{,}47 \quad Hg^2Cl\ 48{,}36 \quad HgO\ 22{,}17 = 100,$$

nombres assez voisins de ceux de l'analyse.

Je propose pour le chlorure d'argent et de mercure le nom de *Bordosite*, rappelant la provenance de l'échantillon, et pour l'oxyde de mercure le nom d'*Hydrargyrite*.

II. *Arséniure de cuivre.* — Cet arséniure, provenant de Fortuna di Paposo, est intimement mélangé de cuivre oxydulé et de quartz. Il est malléable, d'un blanc jaunâtre métallique, prenant sous le marteau la couleur jaune de laiton. Il renferme environ 7,5 p. 100 d'arsenic.

Quoique sa composition diffère sensiblement de celle des arséniures de cuivre déjà connus (Whithneyite, Algodonite, Domeykite), je ne pense pas qu'il y ait lieu d'en faire une espèce nouvelle, et je le considère simplement comme une Whithneyite pauvre en arsenic.

III. *Jalpaïte.* — Un échantillon de sulfure d'argent et de

cuivre provenant de la mine Buena Esperanza, district de Treŝ Puntas, soumis à l'analyse, m'a donné :

S 14,02 Ag 71,63 Cu 13,06 Fe 0,57 = 99,28.

Ces nombres correspondent très-sensiblement à ceux donnés par Richter pour la Jalpaïte de Jalpa, Mexique, décrite par Breithaupt (*Berg ünd Hüttenmännische Zeitüng*, t. XV, p. 85, 1858).

Jalpaïte de Jalpa, par Richter :

S 14,36 Ag 71,51 Cu 13,12 Fe 0,79 = 99,78.

J'ai trouvé cette Jalpaïte du Chili dans un calcaire clivable, associée à quelques minéraux cuprifères, tels que : Malachite, Chrysocole, etc... A l'intérieur de la Jalpaïte se trouve du sulfure d'argent pur, ne renfermant pas de cuivre. Le sulfure d'argent et la Jalpaïte se trouvent côte à côte; ces deux espèces passent brusquement de l'une à l'autre. On les reconnaît facilement à l'éclat qui est un peu plus vif pour la Jalpaïte, aux clivages qui sont plus développés dans le sulfure d'argent, mais surtout à l'action du canif : le sulfure d'argent se coupe facilement, tandis que la Jalpaïte s'égrène.

IV. *Linarite.*—Cette espèce, qui je crois n'a pas encore été citée en Amérique, provient d'Ojancos. Elle est légèrement altérée, les acides l'attaquent *avec effervescence*, elle renferme 11,35 p. 100 d'eau et d'acide carbonique. Sa couleur est un peu plus claire que celle de la linarite d'Angleterre.

V. *Lettsomite.* — Cette espèce provient d'Ojancos comme la linarite.

Elle ne diffère pas des Lettsomites déjà connnues.

VI. *Tellure natif.* — J'ai déjà cité le tellure natif comme provenant del Sacramento et se trouvant dans un quartz aurifère comme en Transylvanie. (Voir *N. Jahrbuch für Mineralogie. — Leonhard ünd Geinitz.* 1870, page 465.)

SUR UN NOUVEAU SILICATE DE CHAUX.

Par M. A. PIQUET, ingénieur civil.

Dans un voyage minier entrepris en juin 1871 dans l'Estramadure et le Portugal, j'ai rencontré un gisement d'une roche que je considère comme une espèce minéralogique nouvelle.

Je l'ai rencontrée au puits n° 1 de la Compagnie Bella Poderosa, de Merida, qui se livre à des recherches de phosphate de chaux dans la Sierra de Carija, à 8 kilomètres environ au nord de Merida.

Ce puits est ouvert sur un filon dioritique qui contient des veines de calcaire magnésien, de quartz, quelques indices de phosphate de chaux, et enfin la roche qui nous occupe et que les gens du pays avaient prise pour du phosphate de chaux.

Ce filon a environ 1 mètre de puissance, et traverse les calcaires métamorphiques siluriens avec une direction sensiblement nord-sud magnétique et une faible inclinaison à l'ouest. N'ayant pu déterminer la nature de cette roche, j'en ai rapporté quelques échantillons à Madrid, décidé à en faire faire l'analyse.

Mon collègue et ami D. Perfecto Clemencin, professeur de chimie à l'École royale des mines de Madrid, a bien voulu se charger de cette analyse, et voici le résultat moyen de celles qu'il a eu l'obligeance de faire à diverses reprises :

Chaux.	46,410
Magnésie.	1,301
Alumine et traces de fer.	1,561
Silice.	48,356
Acide sulfurique.	0,562
Acide carbonique.	1,000
Eau.	1,111
Potasse.	traces
Total.	100,301

Si l'on suppose que la silice soit à l'état de silicate d'alumine et de silicate de chaux d'une formule quelconque, on trouve, en admettant que la proportion de fer soit de 0,001 :

$$2,982\ SiO^3Al^2O^3,\ \text{soit}\ 1,402\ SiO^3 + 1,560\ Al^2O^3,$$

plus $$90,018\ 2SiO^3 3CaO,\ \text{soit}\ 46,410\ SiO^3 + 43,064\ CaO,$$

et il reste 3,346 CaO qu'on peut considérer combiné, soit à CO^2, soit à SO^3HO, soit avec MgO à l'état de chaux magnésienne. On peut donc admettre que ladite roche est essentiellement composée d'un sesquisilicate de chaux de la formule $2\ SiO^3\ 3CaO$.

C'est donc une espèce nouvelle, vu que les silicates de chaux connus ou au moins décrits sont tous au contraire des silicates acides se rapprochant des formules de la Wollastonite $2SiO^3\ CaO$, de celle de la Edelforsite $3SiO^3\ CaO$, et enfin de celle de la Dyglasite $4SiO^3\ CaO$ Aq., le moins acide étant la Wollastonite.

Quant aux caractères minéralogiques de cette roche, les voici :

Densité. 2,799
Dureté entre. . . . . 3,5 et 4.

Difficilement fusible.
Apre au toucher.

Couleur blanc soyeux, pareille à celle du verre filé, éclat du verre filé, structure en masse fibreuses radiées.

Par son aspect, cette roche est donc assez semblable à la Wollastonite de Thomson, mais elle paraît cependant former une nouvelle espèce de silicate de chaux.

Madrid, 1er juin 1872.

NOTE

SUR UN PROCÉDÉ DE SÉPARATION DU FER ET DU MANGANÈSE.

Par J. P. DE REZENDE.

Dans sa *Docimasie*, mon éminent et très-regretté maître, M. Rivot, parle de la séparation du fer et du manganèse par la litharge, comme étant très-nette. L'application de ce procédé présente cependant de grandes difficultés pratiques, à cause de la très-faible solubilité du chlorure de plomb, qui gêne considérablement les séparations ultérieures de ce métal d'avec les autres.

J'ai pensé qu'en substituant à la litharge l'oxyde noir de cuivre, on pourrait arriver à une séparation tout aussi nette des deux métaux, et que les séparations ultérieures ne présenteraient pas les mêmes inconvénients ; c'est ce qui fait le sujet de la présente notice.

Principes sur lesquels est fondée la méthode. — 1° Si l'on fait bouillir pendant quelques heures une dissolution d'un sel de fer au maximum avec un excès d'oxyde noir de cuivre, la totalité du fer est précipitée.

2° Le même oxyde de cuivre agissant d'une façon analogue dans une dissolution d'un sel de protoxyde de manganèse ne produit aucun précipité.

Supposons une dissolution chlorhydrique des deux métaux. On peroxyde le fer par le chlore; on élimine par ébullition l'excès de ce métalloïde; on ajoute un excès d'oxyde de cuivre, obtenu par calcination de l'azotate, et l'on fait bouillir pendant cinq ou six heures. On lave d'abord par décantations et ensuite sur le filtre à l'eau bouillante le précipité de sesquioxyde de fer, associé à l'excès de l'oxyde de cuivre, jusqu'à ce que les eaux de lavage ne se troublent plus par l'addition d'un peu de sulfhydrate d'ammoniaque, et l'on procède à la séparation, d'une part, du cuivre et du manganèse, et de l'autre, du premier métal et du fer.

Pour doser le manganèse on précipite d'abord le cuivre par

l'hydrogène sulfuré, et ensuite le manganèse par le sulfhydrate d'ammoniaque; on transforme par grillage le sulfure en oxyde rouge, et l'on pèse.

Pour doser le fer, après avoir détaché les deux oxydes du filtre et incinéré celui-ci, on dissout le tout dans l'acide chlorhydrique; on étend d'eau; on précipite le cuivre par l'hydrogène sulfuré; on chasse l'excès de ce réactif par ébullition; on sépare le soufre par filtration; on peroxyde le fer, puis on le précipite par l'ammoniaque, et on le pèse à l'état de sesquioxyde.

Observations. — Après avoir indiqué la marche générale de la méthode, entrons dans quelques détails pour bien préciser les précautions nécessaires pour arriver à des résultats exacts.

La séparation des deux métaux, manganèse au minimum et fer au maximum, est d'une netteté admirable toutes les fois qu'on emploie l'oxyde de cuivre en quantité suffisante et que l'ébullition est prolongée pendant cinq ou six heures. Si l'excès du réactif précipitant est faible, il est très-difficile de précipiter les dernières traces de fer: l'expérience m'a montré que pour précipter 1 de fer il convient d'ajouter de 8 à 10 d'oxyde de cuivre.

Dans mes premières expériences, pour faciliter les séparations ultérieures, je tâchais de restreindre autant que possible la quantité du réactif précipitant; dans le même but, j'avais le soin de neutraliser préalablement l'excès d'acide, en ajoutant dans la liqueur de l'ammoniaque étendue par petites portions jusqu'à ce qu'elle devînt rougeâtre. Une pareille pratique me donnait presque toujours les résultats suivants:

1° Une fraction sensible, quoique peu considérable, du manganèse était précipitée : résultat qui tenait probablement de la peroxydation d'un peu de manganèse pendant le traitement par l'ammoniaque, ou à ce qu'une fraction du protoxyde de ce métal était entraînée en combinaison par le sesquioxyde de fer, fait analogue à ce qui se passe quand on précipite le peroxyde de fer en présence d'une base forte.

2° Dans la liqueur, il restait toujours une portion de fer suffisante pour salir en grisâtre et quelquefois en noir la couleur rouge de chair, particulière au sulfure de manganèse.

Si l'on opère avec une dissolution franchement acide, la peroxydation signalée n'a plus lieu, et la portion de l'oxyde de cuivre dissoute étant relativement considérable, celui-ci protége le protoxyde de manganèse de l'entraînement par le sesquioxyde de fer. Je dois observer qu'une portion plus ou moins considérable du cuivre dissous est toujours précipitée sous forme d'une ma-

tière verdâtre, plus légère que l'oxyde noir du même métal, et qui probablement constitue un oxychlorure; si l'excès de l'oxyde noir est considérable et l'ébullition très-prolongée, on peut même arriver à la précipitation complète du cuivre, dissous par l'excès d'acide de la liqueur et par la précipitation progressive du fer.

Quant au second inconvénient, on l'évite très-bien en forçant la dose du réactif précipitant. Cet excès ne complique pas sérieusement les purifications ultérieures, car, 1° l'oxyde de cuivre est pulvérulent, et, comme tel, d'un lavage facile; 2° dans la séparation du fer et du cuivre on peut tourner la difficulté du lavage d'un précipité aussi volumineux que le sulfure de cuivre en grande quantité, en précipitant d'abord le fer par l'ammoniaque en excès qui dissout la majeure partie du cuivre; on débarasse ensuite le sesquioxyde de fer du cuivre qu'il retient, en le dissolvant dans l'acide chlorhydrique et en précipitant le cuivre par l'hydrogène sulfuré, ou même en appliquant les dissolutions et précipitations successives par l'ammoniaque: quelques expériences m'ont montré qu'à la troisième ou quatrième précipitation, le sesquioxyde de fer ne retient plus de trace sensible de cuivre.

L'ébullition prolongée, nécessaire à la précipitation complète du fer, a le grave inconvénient de diviser à l'extrême le sesquioxyde de fer, en lui communiquant une tendance prononcée à traverser les pores du papier. Ceci constitue une des principales difficultés du procédé, et demande une sérieuse attention pour qu'on puisse arriver à des résultats exacts. D'abord, je me sers d'un filtre double ou triple pour empêcher le précipité de le traverser, et j'ai soin de ne le remplir que jusqu'aux trois quarts; puis je prends la précaution de ne décanter des liqueurs que quand la majeure partie du sesquioxyde de fer s'est déposée, et de laver immédiatement le filtre deux ou trois fois à l'eau bouillante après chaque décantation. En opérant ainsi et en lavant trois fois par décantation, je suis arrivé à des résultats satisfaisants. Si l'on jette le précipité sur le filtre, sans l'avoir préalablement lavé par décantation, il bouche les pores du papier; ce qui rend le lavage très-long et très-pénible.

L'oxyde noir de cuivre doit se préparer en calcinant de l'azotate, et non en le précipitant par la potasse. En effet, dans ce dernier cas, malgré tous les soins dans la précipitation et le lavage, il retient toujours une quantité plus ou moins notable d'alcali, qui peut précipiter un peu de manganèse avec le fer.

En opérant avec les précautions indiquées sur des quantités pesées A de fer et d'oxyde rouge de manganèse, j'ai trouvé les résultats B.

	A	B
1° Fer.	0g,86	non dosé.
Oxyde rouge de manganèse. . .	0g,10.	0g,099
2° Fer.	0 ,275.	non dosé.
Oxyde rouge de manganèse. . .	0 ,30.	0 ,295
3° Fer.	0 ,201.	0 ,206
Oxyde rouge de manganèse. . .	0 ,25.	0 ,265
4° Fer.	0 ,096	0 ,1
Oxyde rouge de manganèse. . .	0 ,40.	0 ,414
5° Fer.	0 ,1	non dosé.
Oxyde rouge de manganèse. . .	0 ,40.	0 ,394

D'après ces nombres, on voit que le dosage du fer laisse bien peu à désirer : le faible excès trouvé peut tenir à la présence de quelques traces de fer dans l'oxyde du cuivre, employé comme réactif précipitant.

Quant au manganèse, à part le n° 1, il y a quelques différences, qui tiennent à l'imperfection du dosage du manganèse et non à la mauvaise séparation des métaux. Dans sa *Docimasie*, M. Rivot, avec la clarté et la précision qui lui étaient si habituelles, montre que le dosage du manganèse, en le précipitant à l'état de sulfure et en le tranformant par grillage en oxyde rouge, n'est qu'approximatif. Les causes principales d'erreur sont :

1° Le sulfure de manganèse, très-gélatineux, se rassemble lentement et a une tendance prononcée à traverser les pores du papier, de sorte qu'il est très-difficile de le recevoir sur un filtre sans perte plus ou moins notable. Il me semble que c'est à cause de ces circonstances que quelques chimistes éminents admettent à tort que l'insolubilité du sulfure de manganèse dans le sulfhydrate d'ammoniaque n'est pas complète.

2° Pendant la dessiccation du sulfure de manganèse il se forme du sulfate d'ammoniaque, dont l'élimination pendant le grillage expose à des pertes par projection et par entraînement.

3° Pendant la dessiccation et le grillage il se forme toujours une certaine quantité de sulfate de manganèse, dont la transformation en oxyde rouge est difficile et demande un long coup de feu au rouge vif.

De toutes ces causes d'erreur les plus faciles à éviter sont les deux dernières, du moment qu'on se résigne à élever lentement et progressivement la température, pour éliminer le sulfate d'ammoniaque sans projections, et à terminer le grillage par un coup de feu d'une heure au rouge vif pour transformer le sulfate de manganèse en oxyde rouge. Pour les cas n° 3 et n° 4 le coup de

feu final n'a pas été suffisamment prolongé ; en recherchant l'acide sulfurique dans les matières grillées, j'en ai trouvé des quantités appréciables.

Pour le cas n° 4 j'ai pesé le sulfate de baryte, et trouvé $0^g,04$.

D'après ces explications, il me semble que de faibles différences de quelques milligrammes dans le dosage du manganèse, qui du reste sont pour la plupart dans les limites des erreurs des analyses bien conduites, n'ont rien d'étonnant et n'empêchent pas d'affirmer que la séparation du fer et du manganèse par l'oxyde de cuivre ne laisse rien à désirer, quelles que soient d'ailleurs les quantités relatives des métaux à séparer.

Quelques recherches qualitatives m'ont montré que l'oxyde de zinc se comporte de la même manière que l'oxyde de cuivre. La séparation du fer et du manganèse est tout aussi nette, et même la précipitation du fer paraît plus facile : je n'ai cependant pas poursuivi ces investigations à cause des grandes difficultés qu'il y a pour séparer le zinc du manganèse et du fer.

Je terminerai cette notice en faisant une comparaison sommaire entre le procédé de séparation par l'oxyde de cuivre et ceux qui sont généralement employés. Sans parler de l'emploi des carbonates, succinates et benzoates alcalins, avec lesquels, comme le montre si bien M. Rivot dans sa *Docimasie*, la longue expérience et la grande habileté de l'opérateur sont les seules garanties d'une approximation très-souvent douteuse, je vais m'occuper des carbonates alcalino-terreux.

En admettant qu'avec ces réactifs on obtienne la précipitation complète du fer, ce qui est réalisable en prenant les précautions convenables, il est certain que le lavage du peroxyde de fer, associé à l'excès du réactif, et les séparations ultérieures sont plus pénibles et exposées à plus d'erreurs qu'en se servant de l'oxyde de cuivre. En effet, pour qu'une portion du manganèse ne soit pas précipitée avec le fer, il faut : 1° que la liqueur reste toujours à la température ordinaire ; 2° éviter le contact de l'air, puisqu'en présence d'un carbonate alcalino-terreux le manganèse absorbe de l'oxygène, et la partie peroxydée est immédiatement précipitée.

La première condition force à laver à l'eau froide un précipité très-gélatineux et très-volumineux, ce qui rend le lavage bien plus pénible et moins parfait que s'il était fait à l'eau bouillante. La seconde ne permet pas de laver ni par décantation ni sur le filtre, sans qu'il y ait absorption d'un peu d'air, et par conséquent sans qu'une portion plus ou moins notable du manganèse soit peroxydée et précipitée.

Quant aux séparations ultérieures, on a à lutter avec l'état très-gélatineux du sulfure de manganèse, dont la purification est incomparablement plus difficile que celle du sulfure de cuivre. Si, dans le cas du carbonate de baryte, on veut tourner cette difficulté en précipitant d'abord la baryte par l'acide sulfurique, la purification du sulfate de baryte, qui entraîne toujours des sulfates métalliques, demande, après des lavages par décantation, des calcinations réitérées au rouge sombre, suivies de digestions dans l'acide chlorhydrique à 100 degrés, etc.: ces opérations sont bien plus longues et plus pénibles que celles qui leur corresponde dans le cas de l'oxyde de cuivre.

Lisbonne, février 1872.

BULLETIN DES EXPLOSIONS.

1° Explosions d'appareils à vapeur arrivées pendant l'année 1870.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement ou l'appareil était placé. — *P.* — Nom du propriétaire de l'appareil. *C.* — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1870					
10 février.	Fabrique d'engrais à Bavai (Nord). *P.* M. Dehromé.	Récipient destiné à la cuisson des os communiquant avec un générateur.	La porte par où les os sont introduits dans le récipient, laissant échapper de la vapeur, il a fallu serrer la vis de pression et, dans cette manœuvre, l'appareil de serrage s'est rompu. La porte n'étant plus maintenue s'est ouverte et a donné issue à la vapeur contenue dans le récipient.	Les deux ouvriers qui avaient manœuvré la vis de pression grièvement blessés.	Circonstance fortuite.
12 février.	Le remorqueur *la Sainte-Anne* (port de Nantes). *P.* MM. de France et Cathelin.	Chaudière cylindrique tubulaire à retour de flammes. Très-ancienne. — Timbre = 2 kilog. (La chaudière avait eu toute la partie supérieure de son enveloppe remplacée en 1861 pour cause d'usure.)	L'enveloppe extérieure s'est rompue sur tout son pourtour, à la hauteur de la ligne de tubes supérieure, dans des parties datant de la construction de l'appareil, à leur jonction avec les parties réparées en 1861.	Dégâts matériels peu importants.	L'explosion paraît due à l'état d'usure des feuilles de tôle qui se sont déchirées.

19 février.	Forges de Fourchambault (Nièvre).	Cylindre d'une machine à vapeur de 60 chevaux, système Watt donnant le mouvement à une partie des appareils des forges.	Le bouton de la manivelle s'étant rompu au commencement de la course ascendante du piston, celui-ci, sous la pression de la vapeur, a été lancé vivement contre le couvercle supérieur du cylindre. Les attaches de la tige du piston avec le balancier ont été rompues, la tige a été forcée et par suite de la chute de plusieurs pièces du parallélogramme, la tige de la soupape d'admission inférieure a été forcée. Le piston est ainsi resté au sommet de sa course, le cylindre étant en communication avec les chaudières. — Douze heures environ après cet accident, quand, après avoir soulevé le couvercle, on essaya de retirer le piston, celui-ci fut lancé brusquement du cylindre et un nuage épais d'eau bouillante et de vapeur s'échappa du cylindre et enveloppa les hommes qui travaillaient autour de ce dernier.	L'ingénieur-mécanicien qui présidait à l'opération, un contre-maître et quatre ajusteurs atteints par la vapeur et l'eau bouillante, morts des suites de leurs blessures.	Imprudence de l'ingénieur-mécanicien qui, avant de commencer les opérations, n'avait pas fait fermer les communications du cylindre avec la chaudière .. Absence de purgeur à la partie inférieure du cylindre.
8 mars.	Fabrique de colle et de gélatine à Ivry (Seine). *P. M. Bordoy.*	Chaudière cylindrique autoclave en tôle, destinée à la cuisson des os, chauffée à l'aide d'un serpentin communiquant avec une chaudière à vapeur timbrée à 5 kilog. Le cylindre était surmonté à sa partie supérieure d'un anneau en fonte, sur lequel venait se boulonner le couvercle de l'autoclave. — Date de la construction = 1869.	L'anneau de fonte, sur lequel le cercle venait se boulonner, s'est rompu suivant la ligne des rivets qui le fixaient au cylindre et le couvercle a été projeté avec cet anneau contre la toiture.	Deux ouvriers légèrement contusionnes.	Mauvaise qualité de la fonte : l'anneau présentait quelques fentes avant l'accident.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — *P.* — Nom du propriétaire de l'appareil. *C.* — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1870					
12 mars.	Ateliers de construction à Fives-Lille (Nord). *P.* MM. Parent, Schaken et comp.	Tuyau de prise de vapeur commun à plusieurs générateurs.	Une des tubulures extrêmes de la conduite ayant été démontée, alors que celle-ci communiquait avec une chaudière encore en feu, a donné issue à la vapeur emmagasinée dans la conduite et dans la chaudière.	Deux ouvriers grièvement blessés par la vapeur.	Imprudence des ouvriers victimes de l'accident pour avoir démonté une conduite alors qu'elle était en communication avec une chaudière encore en pression.
21 mars.	Houillère de Courrières (Pas-de-Calais).	Chaudière cylindrique en tôle sans bouilleur, alimentant la machine d'extraction de la fosse. — Epaisseur 10 millim.	La tôle du coup de feu s'est déchirée longitudinalement à $0^m,40$ environ au-dessous de la ligne des carneaux, laissant passage à l'eau et à la vapeur contenues dans la chaudière. La déchirure a eu lieu peu de temps après la remise en marche de la pompe alimentaire.	Une jeune fille, entrée dans la chambre de la chaudière au moment de l'explosion, brûlée par la vapeur et les charbons enflammés.	Imprudence du mécanicien qui a laissé la chaudière se vider notablement au-dessous des carneaux et a alimenté sur des parois en contact direct avec la flamme, et qui se trouvaient à une température élevée.
23 mars.	Fabrique de bascules, à Eckartsviller (Bas-Rhin). *P.* MM. Huhn et Vauconsant.	Bouilleur-réchauffeur en tôle, horizontal latéral à la chaudière à vapeur de l'établissement. — Epaisseur $8^{mm},5$; — Timbre = 6 kilog.	Le bouilleur s'est fendu à sa virole d'avant, sur une longueur de $1^m,90$, suivant une génératrice, immédiatement au-dessus d'une rangée de rivets. La tôle, à la ligne de rupture, n'avait plus qu'une épaisseur de 1 à 2 millim., comme si elle eût été cisaillée par l'arête de la feuille de tôle rivée à son intérieur.	Dégâts matériels peu importants.	Circonstance fortuite.

16 mai.	Briqueterie, à Rhinau (Bas-Rhin). *P. M.* Gilliot.	Chaudière de machine locomobile de la force d'environ 4 chevaux, à foyer intérieur et retour de flamme tubulaire. — Epaisseur = 10 millim. (au corps cylindrique).— Timbre=6k.—Construite en 1864. — Venait d'être établie dans la briqueterie du sieur Gilliot.	La chaudière, qui avait manifesté des fuites aux joints, aux essais qui avaient suivi son établissement, venait d'être remise en état et commençait son service. Après la mise au feu et quand la pression atteignait à peine 4 kil. 1/2, une fuite intense se manifesta et la chaudière vola aussitôt en éclats.	Deux ouvriers occupés dans le voisinage de la chaudière légèrement blessés par les débris de l'explosion.	Vice de construction. Le corps cylindrique extérieur représentait en section une circonférence complète; le foyer n'en représentait que les trois quarts, en sorte que la partie qui comprenait l'eau et la vapeur avait la forme d'un croissant renversé.—La tôle inférieure du corps cylindrique extérieur servait de tirant, maintenant les deux extrémités du croissant, mais elle avait été percée d'évidements de la largeur entière de la grille, de sorte que la partie restante de la tôle était d'une résistance insuffisante, en raison de sa faible section et de sa courbure.
29 mai.	Lavoir, rue Viollet, à Paris. *P.* M Lozouet.	Chaudière verticale tubulaire. Les tubes, du système Aubert, sont en fer terminés par des viroles coniques.	La chaudière était à son premier essai; elle fonctionnait depuis plusieurs heures, quand un des tubes a été violemment projeté. L'eau et la vapeur se sont échappées par l'orifice laissé libre.	Deux ouvriers occupés au frein dans le voisinage de la chaudière, brûlés par la vapeur.	Vice de construction. Défaut d'ajustage du tube qui a cédé.
26 juin.	Moulin, à Mèves (Nièvre). *P.* M. Souques. *C.* Flaud, à Paris.	Chaudière cylindrique horizontale à deux bouilleurs, alimentant une machine de la force de 6 chevaux.— Dimensions de la chaudière : Longueur $=3^m,55$;—Diamètre $=0^m,70$; — Dimensions des bouilleurs : Longueur = 4 mètres;—Diamètres = $0^m,50$ — Timbre = 6 atmosph.;—Epaisseur de la tôle des bouilleurs 9 millim. (réduite à 7 millim. au coup de feu).—Date de la mise en service = 1864.	Un des bouilleurs s'est ouvert longitudinalement au coup de feu, sur une longueur de $0^m,86$.—L'eau et la vapeur s'échappant par cette issue, ont enveloppé le chauffeur qui se tenait devant le fourneau. La rupture a eu lieu quelques instants après un arrêt de la machine.	Le chauffeur mort des suites de ses brûlures. Dégâts matériels peu considérables.	Mauvais état du bouilleur qui était brûlé au coup de feu. Ce mauvais état était dû à l'inexpérience de l'ouvrier préposé à la conduite de la chaudière, et engage la responsabilité du propriétaire, qui n'eût pas dû, sans préparation préalable, donner à son domestique les fonctions de chauffeur.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — P. — Nom du propriétaire de l'appareil. C. — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1870 3 juillet.	Papeterie dite de la Croix-Blanche, près Thiers (Puy-de-Dôme). *P.* MM. Comoy er Monneret. *C.* Séraphin et Bertrand, à Paris.	Chaudière cylindrique horizontale à un bouilleur et réchauffeur, alimentant une machine de 25 chevaux.—Capacité = 7mc400; —Timbre=6 atmosph.—Epaisseur de la tôle = 11 millim. (Elle était réduite à 9m1/2 au point de rupture de la chaudière.) — Date de la mise en service = 1861.	La virole postérieure du corps cylindrique principal s'est ouverte à la partie inférieure, au point qui reçoit l'action directe de la flamme arrivant du carneau du bouilleur. — La rupture s'est produite un quart d'heure après un chargement du foyer. La chaudière était sans doute surmenée à raison du chômage d'une turbine qui fait marcher l'établissement concurremment avec la machine à vapeur.	Dégâts matériels peu considérables.	Cause douteuse.—La tôle a cédé en un point placé dans une condition particulièrement propre à amener en marche normale des dégradations et avaries.—Il paraît probable, d'après les constatations faites après l'accident, que la tôle qui s'est déchirée était en mauvais état; qu'elle avait été antérieurement avariée, par suite ou d'insuffisance d'alimentation ou d'incrustations.
29 août.	Moulin à blé, à Vicq (Haute-Marne). *P.* M. Collet (exploitant). *C.* Seguin, à Dijon.	Chaudière cylindrique horizontale à foyer intérieur. — Capacité = 2mc,543; — Timbre = 6 kilog.; — Diamètre du cylindre intérieur = 0m,60; — Date de la mise en service, 1859.	Le générateur ayant manqué d'eau, la partie supérieure du cylindre intérieur a rougi, s'est déformée et entr'ouverte sous la pression de la vapeur intérieure. Après l'explosion, le cylindre présentait deux déchirures de 0m,75 à 2 mètres de longueur, et un lambeau de tôle de 0m,70 sur 0m,20 de large s'en était détaché.	Le chauffeur et une personne tués. Trois personnes blessées. Dégâts matériels peu importants.	Négligence du chauffeur qui a laissé sa chaudière manquer d'eau, au point de permettre à la tôle de rougir sous l'action de la flamme et de se déchirer sous la pression de la vapeur. La pompe alimentaire fonctionnait mal et aucun des trois indicateurs du niveau dont la chaudière était munie n'était en bon état.
28 nov.	Sucrerie, à Berlaimont (Nord). *P.* M. Dornengies.	Chaudière cylindrique horizontale à deux bouilleurs et réchauffeur, fai-	La virole antérieure d'un des bouilleurs s'est ouverte longitudinalement au-des-	Le chauffeur mort des suites de ses brûlures.	Mauvaise conduite du feu. — La grille était à une distance un peu faible

	C. MM. Carion - Delmotte.	sant partie d'une batterie de cinq générateurs. Dimensions de la chaudière : — Longueur = 10m,30 ; — Diamètre = 1m,10. Dimensions des bouilleurs : — Longueur = 10m,80 ; — Diamètre = 0m,55 ; — Timbre = 6 atm. ; — Epaisseur de la tôle du bouilleur = 9 mill. à 9 mill. 1/2. — Cette chaudière a été mise en service en 1858 et réprouvée le 2 février 1866. Elle ne fonctionnait que pendant trois mois chaque année.	sus du foyer, sur une longueur de 1m,80, suivant une ligne de rivets ; et l'eau bouillante et la vapeur renfermées dans les chaudières, les bouilleurs et les réchauffeurs s'échappant par cette ouverture, se sont repandues dans le local des générateurs et ont atteint le chauffeur et son aide. La rupture s'est produite au moment où le chauffeur venait d'ouvrir les portes du foyer pour attiser le feu.	L'aide-chauffeur grièvement brûlé. Dégâts matériels peu considérables.	des bouilleurs et le chauffeur avait l'habitude de trop charger de combustible. Il en est résulté une détérioration progressive de la tôle au-dessus du foyer sous l'action des feux intenses faits sous la chaudière.

RÉSUMÉ.

Nombre total d'explosions. 13

Nombre de victimes. { Tués ou morts des suites de leurs blessures. 10
Blessés. 15

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

Par nature d'établissements.

Usine métallurgique. 1
Mine. 1
Bateau. 1
Moulins à blé. 2
Fabriques diverses (dont une sucrerie, une papeterie, etc.). 8

Par nature d'appareils.

Chaudières cylindriques horizontales avec ou sans bouilleurs. 5
Chaudière cylindrique horizontale à foyer intérieur, non tubulaire. 1
Chaudières cylindriques horizontales à foyer intérieur et tubulaires. 2
Chaudière cylindrique verticale tubulaire. 1
Récipients divers. 4

D'après les causes qui les ont occasionnés.

Défaut de surveillance ou négligence des propriétaires et des agents chargés de l'entretien ou de la conduite de l'appareil. 7
Vices de construction. 3
Circonstances fortuites 2
Cause indéterminée. 1

2° Explosions d'appareils à vapeur arrivées pendant l'année 1871.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — *P.* — Nom du propriétaire de l'appareil. *C.* — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1871 16 janvier.	Mines de houille de Firminy et Roche-la-Molière (Loire). — Puits Monterrad, n° 2.	Chaudière cylindrique munie de deux bouilleurs réchauffeurs inférieurs, alimentant avec trois autres appareils semblables la machine d'extraction. Le bouilleur qui a fait explosion est le bouilleur alimentaire. Il n'avait de communication qu'avec le bouilleur voisin et, à l'avant, par une tubulure droite, horizontale, de diamètre notablement plus petit que celui des bouilleurs. Il était incliné de telle sorte que l'avant était plus bas que l'arrière. Les flammes, après avoir passé sous le corps cylindrique, enveloppaient un premier bouilleur, et ensuite le bouilleur alimentaire, de l'avant à l'arrière. Diamètre = 0m68; — Longueur = 13m,60; — Timbre = 5 kilog. — Pression de marche = 3k,1/2; — Épaisseur = 8 millim.	L'explosion a eu lieu au moment de l'alimentation. Le bouilleur alimentaire s'est déchiré suivant une section presque droite et s'est divisé en deux parties qui ont été projetées en sens inverse l'une de l'autre, entraînant le deuxième bouilleur et la chaudière, détruisant le fourneau et répandant l'eau et la vapeur dont était rempli le générateur.	Les trois chauffeurs morts des suites de leurs brûlures. Dégâts matériels peu importants.	Vice dans la disposition de la chaudière. L'inclinaison du bouilleur alimentaire permettait la production d'un réservoir d'air et de vapeur à l'arrière dudit bouilleur, à partir de la communication avec le bouilleur voisin. Dans ces conditions, il existait une surface non mouillée en contact avec les flammes dont l'importance pouvait s'élever jusqu'à 7m.q.. L'alimentation pouvait donc amener une projection d'eau sur des parois surchauffées, et telle a été la cause déterminante de l'explosion.
14 avril.	Filature à Fourmies (Nord). *P.* M. Dervillé.	Chaudière cylindrique horizontale à trois bouilleurs. — Diamètre de la chaudière = 1m,30; — Diamètre des bouilleurs	Le bouilleur central s'est ouvert longitudinalement au-dessus du foyer sur une longueur de 1m,80. Cette partie avait été su-	Le mécanicien mort des suites de ses blessures. Le chauffeur grièvement blessé.	Mauvaise conduite du feu; le foyer était habituellement trop chargé de combustible et la chaudière n'était pas assez souvent

	… Louvroil.	… $5^k,8$; — Épaisseur de la tôle des bouilleurs = 8 millim.; — Mise en service = 1867.	… feu.	[illegible]	… reux qui l'incrustaient à l'intérieur. Par suite, la tôle du bouilleur central a été brûlée au coup de feu.
17 avril.	Usine à plomb, à Carnoulès (Gard). *C.* Marron, à Alais.	Chaudière cylindrique verticale, à foyer intérieur. - Dimensions de la chaudière : Hauteur = $3^m,15$; — Diamètre = $1^m,15$; — Dimensions du foyer : Longueur = $2^m,40$; Diamètre = $0^m,80$; — Timbre = 5 kil.; — Épaisseur de la tôle du foyer = $7^{mm},5$.	Le ciel du foyer s'est déchiré sur tout le pourtour suivant la ligne de rivure. Les tôles du foyer cylindrique intérieur ont été ou ployées, ou arrachées, ou brisées en morceaux dont le poids varie entre 1 et 10 kilog. La chaudière a été lancée à une grande hauteur et est allée retomber à environ 80 mètres de distance. L'explosion s'est produite au moment où, après le repas, on se disposait à reprendre le travail et à remettre la machine en mouvement.	Dégâts matériels.	Mauvaise qualité et défaut d'épaisseur de la tôle du foyer. (Cette épaisseur était de $7^{mm},5$ quand elle eût dû être de $12^{mm},75$ suivant l'ancienne formule réglementaire.)
Juin.	Fabrique de réglisse à Saint-Marcel (Bouches-du-Rhône).	Cuve demi-cylindique à double fond, en communication avec un générateur timbré à 4 kilog. L'appareil avait été fabriqué pour fonctionner à échappement libre.	Le cylindre intérieur s'est complétement arraché et a été projeté dans l'atelier. L'échappement avait été fermé et par suite, la vapeur a atteint dans le double fond la tension qu'elle avait dans la chaudière, tension que cet appareil était hors d'état de supporter.	Dégâts matériels.	Imprudence du propriétaire, qui a fait fonctionner avec échappement fermé un appareil établi pour fonctionner à échappement libre.
7 juin.	Papeterie de la Vigne, commune de Marsac (Puy-de-Dôme). *P.* M. Bernard.	Cylindre sécheur en fonte, en communication avec une chaudière système Belleville, timbrée à 7 kilog., marchant à $9^k,7$. — Longueur = $1^m,30$; — Diamètre = $0^m,80$; — Épaisseur = 22 millim.	L'appareil a éclaté subitement sous un excès de pression, en projetant ses débris dans tous les sens. Il est à présumer que l'échappement était fermé et que la tension de la vapeur s'est élevée dans le cylindre comme dans la chaudière, entre 9 et 10 kilog., c'est-à-dire au-dessus de la résistance à la rupture que présentaient les parois en fonte de l'appareil.	Un ouvrier tué par les éclats de l'appareil. Un ouvrier brûlé grièvement par la vapeur. Dégâts matériels importants.	Imprudence du propriétaire, qui a laissé fonctionner un appareil à une pression notablement supérieure à celle à laquelle il était en état de résister

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — P. — Nom du propriétaire de l'appareil. C. — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1871					
14 juin.	Carrière à Nanterre (Seine). *P.* M. Méloche.	Chaudière locomobile tubulaire, horizontale. — Corps cylindrique : Longueur = 1m,50 ; — Diamètre = 0m,50 ; — Epaisseur = 7 millim. — Surface de chauffe = 5m.q. ; — Timbre = 5 kilog.	La chaudière s'est ouverte, à sa remise en feu, après réparation insuffisante, sans épreuve préalable. Les parties exposées à l'action de la flamme étaient recouvertes d'un dépôt séléniteux. L'appareil avait été abandonné dans la carrière pendant le siège de Paris, et tantôt sous l'action du feu que les troupes y avaient fait, tantôt sous l'action de la gelée, le métal s'était profondément altéré. La rupture a eu lieu le long d'une clouure transversale de l'enveloppe cylindrique. Des fuites s'étaient préalablement manifestées le long de cette clouure.	Un chauffeur blessé, brûlé par la vapeur.	Imprudence du chaudronnier qui a livré une chaudière, après réparation, d'ailleurs mal faite, sans l'avoir soumise à une épreuve préalable.
10 juillet.	Forges de Bességes (Gard).	Chaudière cylindrique munie d'un bouilleur, alimentant, avec d'autres appareils semblables, la machine d'un train à rails. — Diamètre de la chaudière = 1m,10 ; — Longueur = 9m,405 ; — Timbre = 6 kilog. ; — Epaisseur = 12 millim. — Mise en service = 1868.	Par suite de la rupture fortuite du tuyau de vidange, le niveau de l'eau s'est abaissé dans la chaudière et les tôles du coup de feu ont rougi, au point qu'elles se sont déchirées sous la pression intérieure de la vapeur. — La déchirure a commencé suivant une génératrice sur une longueur de 2m,71 ; arrivée à une ligne de rivets transversale, elle a continué suivant une section droite et a ainsi divisé le corps cylindrique en deux tronçons ; celui d'avant a été projeté hors du fourneau ;	Un manœuvre mort des suites de ses brûlures. Un chauffeur, un manœuvre et deux autres personnes blessés. Dégâts matériels peu importants.	Circonstance fortuite. — Rupture d'un tuyau de vidange dans une partie noyée dans la maçonnerie.

	P. M. Jourdain.	peur d'une chaudière et fermée par un couvercle en fonte. — Diamètre = $1^m,21$; — Hauteur = $1^m,31$; — Pression de la marche = 3 kilog.	pourtour et a été projeté en l'air. La section de rupture présentait, en quelques points, des traces indiquant une fissure déjà ancienne.		la fonte pour un couvercle mobile soumis à des chocs fréquents donne lieu à des fissures qui ne se manifestent pas toujours immédiatement.
28 août.	Ferme à Guise (Aisne). *P.* M. Besson.	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs, déjà ancienne.	Le bouilleur de droite s'est ouvert au coup de feu sur une longueur de $0^m,40$, au moment précis de la reprise du travail, après le déjeuner des ouvriers.	Un chauffeur mort, brûlé par la vapeur.	Négligence du chauffeur qui a alimenté intempestivement, après avoir laissé la chaudière se vider complétement d'eau.
30 août.	Filature de laine, à Tourcoing (Nord). *P.* M. Herbaux.	Lisseuse composée de cinq cylindres en cuivre, avec fonds plats en fonte de fer, en communication avec des appareils générateurs fonctionnant à 6 kilog. — Dimensions des tambours : Longueur = $0^m,78$; — Diamètre = $0^m,62$; — Épaisseur = $0^{mm},8$ à $0^{mm},9$.	Deux des cylindres ont été déchirés, un troisième a eu ses fonds arrachés ; les deux autres ont été bosselés. L'échappement fonctionnant mal, la vapeur a pu atteindre dans les cylindres une pression à peu près égale à celle de la chaudière, pression qu'ils étaient hors d'état de supporter et sous l'effort de laquelle ils se sont déchirés.	Deux ouvriers légèrement atteints par la vapeur.	Vice de construction. — La lisseuse manquait des appareils nécessaires pour l'échappement de la vapeur à la sortie, ou pour sa détente avant l'entrée.
18 sept.	Fonderie de cuivre, rue des Gravilliers, à Paris (Seine). *P.* M. Duquesnoy. *C.* Hermann-Lachapelle et Glover.	Chaudière verticale à foyer intérieur. Système Hermann-Lachapelle et Glover. — Capacité = $0^{mc},765$; — Surface de chauffe = $4^{mq},50$; — Timbre $6^k,5$.	La clouure qui réunissait la base de la cheminée au ciel du foyer a cédé sur les 2/3 à peu près du pourtour. Le ciel du foyer a été rabattu et la vapeur et l'eau ont fait irruption par le foyer. L'explosion a eu lieu une demi-heure après la mise en train de la machine au commencement de la journée.	Le chauffeur mort, brûlé par la vapeur. Dégâts matériels peu importants.	Cause indéterminée. — Le ciel du foyer, qui n'était consolidé par aucune armature a cependant paru avoir une épaisseur insuffisante.
19 sept.	Atelier de tissage, à Remiremont (Vosges). *P.* M. Breton.	Chaudière cylindrique munie de deux bouilleurs et de deux réchauffeurs. — Timbre = 6 kilog.	Un des bouilleurs s'est rompu au coup de feu sur une longueur de $2^m,50$. Les circonstances de l'accident n'ont pu être constatées, l'avis n'en ayant été donné que très-tardivement.	Dégâts matériels peu importants.	La cause de l'accident n'a pu être déterminée.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — *P.* — Nom du propriétaire de l'appareil. *C.* — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1871 12 octobre.	Atelier d'encollage, à Roubaix (Nord). *P.* M. Herbay. *C.* Fontaine.	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs, ancienne. — Capacité = 4^{mc},800; — Surface de chauffe = 24$^{m.q.}$; — Timbre = 4 kilog.	Des fuites légères s'étaient manifestées dans la journée à un des bouilleurs. A 5 h. 30 du soir, vers la fin du dernier repas des ouvriers, au moment où l'atelier allait reprendre sa marche, la porte du foyer ayant été accidentellement ouverte, la chaudière fit tout à coup explosion et projeta de tous côtés, et au loin, des éclats considérables. La chaudière, déjà ancienne, avait été surmenée et très-souvent mal alimentée. Elle fonctionnait à des pressions beaucoup plus élevées que son timbre et avait reçu plusieurs coups de feu qui avaient rendu le métal très-aigre. Il est probable qu'au moment de l'ouverture du foyer, le niveau de l'eau était très-bas, qu'une portion considérable de la tôle du générateur était rouge et que la contraction brusque due au contact de l'air froid aura déterminé la rupture de l'appareil. Le tube indicateur manquait et le flotteur fonctionnait mal.	Le chauffeur, un ouvrier, une personne étrangère et un enfant dans la rue, tués, brûlés par la vapeur ou atteints par les débris de la chaudière. Le second de l'établissement gravement blessé. Dégâts matériels très-importants.	Imprudence du propriétaire qui avait laissé depuis longtemps sa chaudière fonctionner à une pression trop élevée et sans indicateur du niveau de l'eau, c'est-à-dire dans des conditions très-dangereuses.

7 nov.	Filature, à Fourmies (Nord). *P.* M. Flament. *C.* Simon, à Louvroil.	Chaudière cylindrique à deux réchauffeurs latéraux, fonctionnant depuis 1864. — Timbre = 4 kilog.	Le réchauffeur inférieur, qui était légèrement incliné, s'est rompu, à sa partie supérieure, sur une longueur de $0^m,60$ dans une région qui, par suite d'un vice de construction, devait emmagasiner de la vapeur et rougissait au contact des flammes. La tôle était oxydée et son épaisseur qui, à l'origine, était de 7 à 8 millim., était réduite à 1 millim. Dans cette situation, elle devait céder sous la plus légère surélévation de pression. La rupture a eu lieu pendant un arrêt de la machine.	Deux enfants, parents du chauffeur, tués, brûlés par la vapeur. Un enfant grièvement blessé. Dégâts matériels sans importance.	Vice de construction. — Le réchauffeur étant incliné et la communication avec la chaudière étant en contre-bas de la partie supérieure du réchauffeur, une partie de la tôle, toujours en contact avec la flamme, n'était point rafraîchie par l'eau et devait s'altérer peu à peu, ainsi qu'il est arrivé.
8 nov.	Fabrique de chaises, rue Basfroi, à Paris (Seine). *P.* MM. Micheleau et Beauquency.	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs. — Capacité $8^{mc},600$; — Timbre = 6 kilog.	L'explosion a eu lieu en pleine marche. Un des bouilleurs s'est ouvert au coup de feu sur une longueur de $2^m,50$, et toute la vapeur que contenait la chaudière s'est précipitée par cette large ouverture.	Le chauffeur tué, brûlé par la vapeur. Dégâts matériels minimes.	Incurie du chauffeur qui a laissé sa chaudière complétement manquer d'eau.
9 nov.	Établissement d'apprêt d'étoffes, à Roubaix (Nord). *P.* MM. Hannard frères.	Tambour à chauffer les cartons, cylindrique en cuivre, avec fonds plats, en fonte, en communication avec un appareil générateur de vapeur timbré à 5 kil 1/2. — La partie cylindrique est assemblée avec les fonds plats par serrage, à l'aide de frettes circulaires en fer, posées à chaud. — Longueur = $0^m,715$; — Diamètre = $0^m,553$; — Epaisseur = $2^{mm},9$. — La pression de la vapeur dans le cylindre pouvait s'élever à 8 kil. 1/2.	Un des fonds plats s'est détaché sous la pression de la vapeur et a été projeté à distance. Ce fond venait d'être renouvelé. Son frettage avait été insuffisant. En outre, le tuyau d'échappement de la vapeur était fermé au moment de l'explosion.	Un ouvrier tué, atteint par les projections. Quatre ouvriers blessés légèrement. Dégâts matériels minimes.	Vice de construction. Dans la réparation qui avait été faite, l'assemblage de la partie cylindrique avec les fonds plats n'avait pas été suffisamment établi.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — *P.* — Nom du propriétaire de l'appareil. *C.* — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1871 14 nov.	Moulin à blé, près Vertus (Marne). *P.* M. Brisson.	Chaudière cylindrique horizontale, à retour de flamme intérieur, munie de deux bouilleurs. — Capacité totale $=0^{mc},904$; — Surface de chauffe = 7 millim. q.; — Timbre = 5 kilog.	Un des bouilleurs s'est ouvert au coup de feu sur une longueur de $0^{m},29$. Le foyer venait d'être très-fortement chargé : il paraît probable que le bouilleur manquait d'eau.	Dégâts matériels sans importance.	Incurie du chauffeur. — Mauvaise conduite du feu et de l'alimentation.
17 nov.	Fabrique de machines à vapeur, à Paris, avenue Parmentier. *P.* MM. Crespin et Lapergue. *C.* Renaud-Huré, de Rouen.	Chaudière cylindrique, horizontale, tubulaire, à foyer amovible, surmontée d'une machine de la force de 35 chevaux. — Corps cylindrique : longueur $= 3^{m},20$; — Diamètre $= 1^{m},45$; — Epaisseur = 11,2 à 13 millim. — Timbre = 7 kilog. — Date de la construction — 1870.	La chaudière a commencé par se déchirer suivant sa clouure longitudinale inférieure, qui fuyait avant l'accident : elle a été divisée en un grand nombre de fragments. — Elle était pour ainsi dire neuve, mais elle avait été abandonnée pendant la guerre, sans soin, avec l'eau qu'elle contenait. — On venait de la mettre en feu pour faire au frein l'essai de la machine.	Deux ouvriers tués, brûlés par la vapeur. Six ouvriers blessés grièvement.	Vice de construction. — Insuffisance d'épaisseur du métal, défaut de solidité de la clouure inférieure et probablement aigreur du métal.
30 nov.	Distillerie, à Arches (Vosges). *P.* MM. Cousin et de Conegliano.	»	Une soupape que le chauffeur surchargeait s'est ouverte à la suite d'une manœuvre maladroite de ce dernier, et, n'ayant pu être retenue par lui, elle a donné passage à un torrent de vapeur.	Le chauffeur blessé, brûlé par la vapeur, et une femme étrangère asphyxiée.	Imprudence du chauffeur.
22 déc.	Distillerie de schistes bitumineux, à Tavernay (Saône-et-Loire).	Chaudière cylindrique horizontale munie de deux bouilleurs. — Capacité	Un des bouilleurs, déjà détérioré par des coups de feu antérieurs, et proba-	Un ouvrier grièvement brûlé par la vapeur.	Imprudence du propriétaire qui a toujours laissé sa chaudière fonction-

	P. M. Mortier.	= 5^{mq},350 ; — Surface de chauffe = 26 mètres q. ; — Épaisseur = 9 millim. — Bouilleurs : Diamètre = 0^{m},55 ; — Épaisseur = 9 millim. ; = Timbre = 7 kilog. — La chaudière fonctionnait depuis quelques jours seulement.	blement manquant d'eau au moment de l'accident, s'est ouvert à sa partie inférieure sous la pression de la vapeur.	Dégâts matériels peu importants.	ner dans les plus mauvaises conditions, comme alimentation et comme conduite du feu, et sans appareil indicateur du niveau de l'eau.
29 déc.	Filature de laine, à Elbœuf (Seine-Inférieure). *P.* MM. May et Chedeville. *C.* Renaux fils, à Rouen.	Chaudière cylindrique, tubulaire, horizontale, à deux bouilleurs et munie latéralement de deux réchauffeurs.—Dimensions des bouilleurs : Diamètre = 0^{m},50 ; — Épaisseur = 7^{mm},5 ; Timbre = 6 kilog. — Fonctionnait depuis 1865.	Les deux bouilleurs se sont ouverts et déchirés sur la plus grande partie de leur longueur, sans projection de fragments.	Un ouvrier (le chauffeur) mort à la suite de ses brûlures. Dégâts matériels importants.	La cause directe de l'accident n'a pu être déterminée d'une façon précise — Toutefois, il paraît utile de mentionner que la tôle des bouilleurs était de qualité médiocre.
30 déc.	Bateau à vapeur « la Ville de Paris », à Nantes (Loire-Inférieure.	Chaudière cylindrique, tubulaire, de construction analogue à celle des machines locomobiles.	Un des tubes de la chaudière s'est rompu à quelques centimètres de la bague près de la plaque tubulaire. L'épaisseur du tube était de 0^{mm},5.	Deux ouvriers (le chauffeur et le mécanicien) atteints par la vapeur, blessés.	Circonstance fortuite. — Réduction d'épaisseur qu'aucun indice n'avait mis à même de reconnaître.

RÉSUMÉ.

Nombre total d'explosions	22
Nombre de victimes. — Tués ou morts des suites de leurs blessures	20
Nombre de victimes. — Blessés	25

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

Par nature d'établissements.

Houillères et carrières	3
Usine métallurgique, fonderie	2
Bateau à vapeur	1
Filatures et tissages	5
Fabriques d'encollage, d'apprêt d'étoffes	2
Moulin à blé	1
Fabriques diverses (dont une papeterie, une distillerie, etc.)	8

Par nature d'appareils.

Chaudières cylindriques horizontales avec bouilleurs	10
Chaudières cylindriques horizontales et tubulaires	4
Chaudières cylindriques verticales à foyer intérieur	2
Récipients divers	5

Observation. — En outre un accident a eu lieu par suite de l'ouverture maladroite d'une soupape qui n'a pu être refermée. 1

D'après les causes qui les ont occasionnés.

Défaut de surveillance ou négligence des propriétaires et des agents chargés de l'entretien ou de la conduite de l'appareil	9
Vices de construction	8
Circonstances fortuites	2
Causes indéterminées	3

BULLETIN.

Sur les accidents, suivis de mort, arrivés depuis 20 ans dans les houillères du Hainaut.

Les chiffres suivants, extraits des documents officiels pour la province du Hainaut, et pour une période de vingt ans, indiquent que la sécurité des hommes qui se livrent au travail, évidemment dangereux, des mines, s'accroît de plus en plus, grâce aux progrès de la science et de l'expérience.

ANNÉES.	NOMBRE d'ouvriers tués.	ANNÉES.	NOMBRE d'ouvriers tués.
1850.	160	1860.	150
1851.	68	1861.	135
1852.	206	1862.	169
1853.	100	1863.	150
1854.	158	1864.	144
1855.	151	1865.	174
1856.	153	1866.	132
1857.	105	1867.	149
1858.	154	1868.	209
1859.	135	1869.	184

Pour bien apprécier ces chiffres, il est indispensable de tenir compte de diverses circonstances. En premier lieu, il faut observer que les mines s'approfondissent tous les jours, que, par conséquent, les difficultés et les dangers que le mineur doit surmonter augmentent constamment. On peut donc dire que l'on a déjà obtenu un résultat très-satisfaisant, lorsque les chances d'accident devenues plus grandes, le nombre de victimes n'augmente pas. En second lieu, le commerce du charbon a pris un développement étonnant pendant cette période; le nombre d'ouvriers employés et la quantité de charbon extraite ont augmenté dans une grande proportion, et il résulte cependant des chiffres indiqués plus haut que le nombre de victimes n'a pas été sensiblement plus grand dans les dernières années que dans les premières.

Si l'on compare le nombre d'hommes tués chaque année d'abord

avec le nombre d'ouvriers employés, et ensuite avec la quantité de charbon extraite, on obtient les deux tableaux ci-dessous :

ANNÉES.	NOMBRE d'ouvriers tués.	NOMBRE total d'ouvriers employés.	OUVRIERS employés par ouvrier tué.
1850.	160	34.811	218
1851.	68	35.468	522
1852.	206	37.794	190
1853.	100	39.382	394
1854.	158	45.280	287
1855.	151	52.002	344
1856.	133	53.868	405
1857.	105	53.358	508
1858.	154	55.084	357
1859.	135	58.855	436
1860.	150	59.542	397
1861.	135	61.692	457
1862.	169	60.734	360
1863.	150	60.091	400
1864.	144	60.546	420
1865.	174	62.461	359
1866.	132	64.973	492
1867.	149	69.307	465
1868.	209	66.916	320
1869.	184	67.660	267

Si l'on divise cette période en deux parties égales, on voit que, dans la première décade, il y a eu un ouvrier tué pour 340 personnes employées, et, pendant la seconde décade, cette proportion a été réduite à 1 pour 397, soit une diminution de 16,87 p. 100 (*).

ANNÉES.	NOMBRE d'ouvriers tués.	TONNES de charbon extraites.	TONNES extraites par ouvrier tué.
1850.	160	4.420.761	27.629
1851.	68	4.753.186	69.901
1852.	206	5.234.646	25.420
1853.	100	5.482.771	54.827
1854.	158	6.154.860	38.954
1855.	151	6.458.416	42.770
1856.	133	6.219.132	46.760
1857.	105	6.441,182	61.344
1858.	154	6.855.011	44.513
1859.	135	7.099.326	53.328
1860.	150	7.506.720	50.045
1861.	135	7.955.643	58.930
1862.	169	7.795.170	46.125
1863.	150	8.101.102	54.007
1864.	144	8.670.372	60.211
1865.	174	9.206.058	52.902
1866.	132	9.851.424	74.632
1867.	149	8.595.280	64.400
1868.	209	9.398.550	44.970
1869.	184	9.840.530	53.481

(*) En Angleterre et pour les mêmes périodes, on a eu 1 pour 245 et 1 pour 300.

Par ce second tableau, on voit que s'il n'y a pas eu moins de victimes, — 160 en 1850 contre 184 en 1869, — le résultat a cependant été des plus satisfaisants, si on le compare à la quantité de charbon extraite, qui a été doublée. Si l'on divise encore la période en deux décades égales et que l'on compare les totaux et les moyennes, on trouve que, dans les dix premières années, on a extrait 59.119.298 tonnes et que l'on a eu 1.370 victimes, et que, dans les dix autres années, on a extrait 87.940.849 tonnes pour 1.596 victimes. En d'autres termes, de 1850 à 1859, on a eu un ouvrier tué pour 43.153 tonnes extraites, et de 1860 à 1869, on a extrait 55.088 tonnes par ouvrier tué, soit une diminution de 27,66 p. 100.

Enfin, si l'on divise les accidents par catégories, on remarque qu'il n'y a pas d'augmentation sensible dans ceux où la direction peut exercer son contrôle : — 688 ouvriers dans les dix premières années, contre 692 dans les dix autres. Elle a été, au contraire, très-forte : — 682 ouvriers tués pendant les dix premières années contre 904 dans les dix autres, — pour les accidents individuels comprenant ceux qui arrivent par éboulement, sur les plans inclinés, par le tirage à la poudre, etc., où le mineur doit lui-même prendre soin de sa vie.

Les chiffres cités plus haut sont significatifs; ils montrent qu'en général, grâce à la sollicitude incessante de l'administration des mines et des directeurs des exploitations, tous les soins sont pris pour écarter, autant que possible, les périls de cette dangereuse industrie, et qu'à ce point de vue, l'industrie houillère s'est notablement perfectionnée.

(*Extrait du Moniteur belge, reproduit par le* Journal officiel *de la République française, numéro du 17 juillet 1872.*)

Sur les mines de mercure d'Almaden (Espagne).

Les formations géologiques des environs d'Almaden appartiennent aux périodes silurienne et dévonienne; elles sont composées de couches de schistes et de quartzites fortement redressées.

Les schistes sont souvent noirs, parfois blancs, gris ou brunâtres; ils renferment des fossiles qui ont servi à déterminer leur époque de formation; on y trouve quelquefois des veines de calcaire.

Les quartzites sont presque toujours blancs, parfois tachetés de rouge par du peroxyde de fer: ils deviennent noirs au contact des schistes. Ils sont très-durs et ont un grain très-fin. De petits filons de quartz les traversent fréquemment.

On trouve aussi à Almaden une roche appelée *frailesca* par les mineurs, d'une structure bréchiforme, composée de fragments de schiste noir et de petits grains de sable et de quartzite empâtés dans un ciment calcaire et magnésien. Elle est très-dure et très-résistante à l'air; les principaux puits sont foncés dans sa masse, et n'ont besoin ni de boisage ni de maçonnerie. Elle accompagne les roches qui constituent les gîtes de cinabre et suit leurs inflexions.

Le cinabre s'est infiltré de préférence dans certaines couches de quartzite encaissées soit dans les quartzites mêmes, soit dans les schistes; cette infiltration s'est produite très irrégulièrement, mais sur toute l'épaisseur des couches et sans les traverser; les schistes ou les quartzites adjacents ne contiennent que rarement des traces de mercure. Ces couches sont imprégnées depuis la surface du sol jusqu'à une profondeur inconnue; on peut donc dire que le gîte d'Almaden est formé de *couches*.

Le cinabre s'est déposé dans la roche et l'a imprégnée; parfois il l'a détruite plus ou moins complétement et a pris sa place. Si l'on calcine en effet des échantillons de richesse moyenne, le résidu se compose d'une sorte de pierre-ponce, ou plutôt d'une éponge de matières friables qui se réduit facilement en sable.

L'infiltration du cinabre s'est produite très-irrégulièrement dans la masse du quartzite; un même échantillon, quelque petit qu'il soit, présente dans ses diverses parties de grandes irrégularités de richesse; si l'on compare les densités et les teneurs d'un certain nombre de fragments, on trouve en effet que les secondes ne sont pas dans le même rapport que les premières, comme cela arriverait si ces fragments étaient homogènes. Les analyses de MM. Bernaldez et Rua Figueroa ont mis ce fait en évidence.

Les teneurs en mercure trouvées par ces ingénieurs oscillent entre 4,53 et 44 p. 100. La teneur moyenne de la masse exploitable est d'environ 8 p. 100.

Le mercure natif accompagne souvent le cinabre; il s'en détache facilement sous le marteau; lors de l'explosion des mines, il est projeté sur le sol des galeries.

Le mercure n'est associé à aucun autre métal; on trouve parfois cependant un peu de pyrite de fer.

Le gîte d'Almaden se compose de trois couches: la première

vers le nord est nommée *San-Nicolas*; la seconde *San-Francisco*, et la troisième, celle qui est le plus au sud, porte les deux noms de *San-Diego* et de *San-Pedro*.

Les deux couches du nord sont parallèles; leur inclinaison, dirigée vers le nord, n'est jamais supérieur à 75 ou 80 degrés: elles deviennent parfois verticales. Elles sont séparées par une masse de quartzite de quelques mètres seulement de puissance, et encaissées complétement dans les quartzites. Leur épaisseur moyenne est de 3 mètres; elles se réunissent vers l'ouest en une seule masse très-riche en cinabre de 14 mètres de puissance. Leur ensemble forme une courbe dont la convexité est tournée vers le nord.

La couche du sud est la plus riche et la plus régulière des trois; sa puissance moyenne est de 6 mètres et demi; elle est encaissée dans les schistes.

L'exploitation de ces couches se fait par étages de 25 mètres environ de hauteur. L'enlèvement du minerai contenu dans un étage comprend trois périodes:

1° Travaux préparatoires ayant pour objet l'enlèvement d'une partie seulement de l'épaisseur de la couche, mais sur toute l'étendue de l'étage;

2° Abatage du minerai sur toute l'épaisseur restante de la couche, mais sur une partie seulement de son étendue; ce qui reste continue les *réserves;*

3° Enfin, enlèvement des réserves.

1° Supposons que l'on soit au niveau supérieur d'un étage quelconque; vers le centre du massif à exploiter et au milieu de l'épaisseur de la couche, on fonce, suivant l'inclinaison, un puits rectangulaire de 3 à 3^{m},50 de longueur dans le sens de la direction du gîte sur 2 mètres seulement dans le sens de l'épaisseur; ce puits est foncé jusqu'au niveau inférieur de l'étage; mais dès qu'il est à 10 ou 12 mètres de profondeur, on fait partir des deux côtés et dans le plan de la couche des tailles en gradins droits ou renversées; les parois de l'excavation ainsi produite sont distantes de 2 mètres elles sont soutenues par des rondins de chêne de 15 à 30 centimètres de diamètre, et distants l'un de l'autre de 1 mètre dans le sens horizontal et de 1 à 1^{m},25 dans le sens vertical. Dans cette première période, on enlève le minerai sur toute l'étendue de la couche, mais seulement sur 2 mètres d'épaisseur.

2° Au fur et à mesure que les gradins avancent, on pousse des galeries transversales de chaque côté de l'excavation, en commençant par le bas de l'étage: ces galeries sont arrêtées au toit et au mur de la couche; elles ont 3^{m},50 de largeur sur 2 mètres de

hauteur et présentent entre elles des intervalles de 3^m,50 qui constituent les *réserves*. On abat le toit de ces galeries, et lorsqu'elles sont à une hauteur convenable, on bâtit sur toute leur largeur une voûte en briques dont les naissances reposent, l'une sur le mur, l'autre sur le toit de la couche. L'intrados est un arc de cercle dont la corde est perpendiculaire à l'inclinaison du gîte ; la flèche de cet arc est de 0^m,01 pour chaque mètre d'ouverture ; l'épaisseur de la voûte est de 0^m,84. Cette voûte est immédiatement chargée d'un massif en maçonnerie de moellons et mortier de chaux ; les ouvriers montent sur ce massif pour continuer à abattre le minerai sur toute l'épaisseur de la couche, mais seulement dans la tranche verticale correspondante à la voûte, et ajoutent de la maçonnerie, au fur et à mesure qu'ils s'élèvent, jusqu'à une hauteur de 10 à 12 mètres. On construit alors une nouvelle voûte que l'on charge d'un nouveau massif, et l'on continue ainsi jusqu'au niveau supérieur de l'étage.

De cette façon, le poids des grandes colonnes de maçonnerie de remplissage est divisé en tronçons et reporté par parties sur le toit et sur le mur de la couche par l'intermédiaire des voûtes successives.

Ces voûtes forment quelquefois le ciel des galeries principales qui séparent les étages ; quelquefois aussi ces galeries traversent les massifs de maçonnerie.

Dans l'exploitation des deux couches du nord (*San-Francisco* et *San-Nicolas*), il arrive fréquemment, à cause de la faible puissance de la roche qui les sépare, que les voûtes sont jetées, à travers le système formé par les deux couches, du mur de *San-Francisco* au toit de *San-Nicolas ;* leur ouverture atteint alors 22 mètres.

3° L'abatage des réserves n'a commencé à Almaden que dans ces dernières années ; on les conservait soigneusement et à grands frais de boisage pour être en mesure de parer à plusieurs années de stérilité de la mine. On les enlève d'étage en étage, en commençant par l'étage supérieur. Le travail se fait pour un massif en commençant par le bas et en montant ; lorsque la roche encaissante est très-solide, on ne remplit pas le vide par le minerai ; dans le cas contraire, on élève des massifs de maçonnerie en montant, comme dans la seconde période.

Comme on le voit par ce qui précède, la méthode d'exploitation suivie à Almaden est très-dispendieuse ; mais elle permet l'enlèvement complet du minerai. Or, la teneur moyenne de ce minerai est de 8 p. 100 ; la densité est environ 3 ; un mètre cube en place

renferme donc en moyenne 240 kilogrammes de mercure. On comprend par là à quels sacrifices de travail et de main-d'œuvre on peut s'assujettir pour avoir la certitude de pouvoir extraire la totalité d'un minerai d'aussi grande valeur.

L'extraction se fait à l'aide d'un grand manége à huit mulets travaillant 12 à 16 heures par jour, par poste de 3 heures. Le manége a 7m,50 de rayon ; le tambour, 1m,50.

Le câble est cylindrique. La charge utile extraite en une fois est de 600 kilogrammes; la vitesse d'ascension, de 0m,40 par seconde.

La production annuelle du minerai est actuellement de 12.500 tonnes, ce qui, à 300 jours de travail par année, fait 61 à 62 tonnes par jour. Le poids des matériaux descendus dans la mine, pierres, mortier et bois, est utilisé pour l'extraction; il représente environ 60 p. 100 de la masse extraite. La pierre employée pour la maçonnerie intérieure est du quartzite provenant de carrières situées près d'Almaden.

Les ouvriers sont répartis en quatre postes qui se succèdent dans la mine toutes les 6 heures à partir de 6 heures du matin. Le premier poste est composé de 400 ouvriers; le deuxième et le troisième en comptent chacun 230 ; c'est pendant ces trois postes que l'on fait les travaux courants d'abatage, de boisage et de maçonnerie; le quatrième n'est composé que de 80 ouvriers destinés surtout à l'épuisement et à quelques travaux de boisage. De cette façon, les mineurs sont encore exposés au moins pendant 4 heures et demie tous les jours à une atmosphère imprégnée de vapeurs mercurielles; aussi peut-on constater chez eux l'hydrargyrie à tous les degrés. Les seules remèdes à opposer à cette maladie, lorsqu'elle n'est ni invétérée ni chronique, sont la sobriété, une excessive propreté et l'exercice au grand air. Il est bon que les ouvriers n'entrent dans la mine que 20 à 24 fois par mois, et que le reste du temps, ils s'occupent aux travaux des champs.

Le tableau suivant résume quelques renseignements économiques sur la main-d'œuvre pour les années 1866 et 1867.

ANNÉES.	EXCAVATIONS intérieures.			CARRIÈRES.			MAÇONNERIE INTÉRIEURE.			
							Mètres cubes construits		Prix de la main-d'œuvre pour un mètre cube	
	Nombre des points d'arrachement.	Mètres cubes de minerai abattus.	Prix de revient de l'abatage d'un mètre cube.	Nombre des points d'arrachement.	Mètres cubes de quartzite abattus.	Prix de revient de l'abatage d'un mètre cube.	d'arche.	de massif.	d'arche.	de massif.
			francs.			francs.			francs.	francs.
1866	347	4.937	44,00	23	2.407	2,80	445	3.390	9,25	7,27
1867	329	4.735	46,00	30	2.611	3,00	574	4 187	9,20	7,19

[*Extrait de la* Notice sur les mines de mercure d'Almaden (Espagne), *par* M. JOSÉ DE MONASTERIO Y CORRÉA, *inspecteur général des mines* (*publiée dans la* Revue universelle des mines, etc.), *par* M. A. HENRY, *ingénieur des mines.*]

Description de deux hauts fourneaux construits en 1870 à Newport, près Middlesbrough.

La production de la fonte dans la Grande-Bretagne a dépassé 5 millions et demi de tonnes en 1870; elle atteindra probablement près de 6 millions en 1871; elle aura plus que doublé depuis dix-sept ans, époque où l'industrie sidérurgigue ne faisait que naître dans les riches districts du Cleveland et du Cumberland. Ce chiffre de 6 millions de tonnes correspond à quatre fois la production de 1810 et à trois cents fois celle de 1750.

Il y a cent vingt ans, le produit annuel moyen d'un haut fourneau était 300 tonnes de fonte; chacun de ceux qui viennent d'être construits à Newport livre, par an, 24.000 tonnes, c'est-à-dire qu'un haut fourneau du type actuel fabrique à lui seul une quantité de fonte égale à près d'une fois et demie la production totale de 1750.

Ce développement de la production des fontes a été dû à deux causes essentielles, réagissant l'une sur l'autre : d'une part, la demande toujours croissante de cette matière première de toutes les industries sidérurgiques et des constructions; de l'autre, les efforts constants en vue d'abaisser le prix de revient.

En partant d'un minerai de fer déterminé on a cherché à économiser sur le combustible, les fondants et la main-d'œuvre consommés par tonne de fonte; à cet effet, on a : 1° calciné très-

complétement tous les minerais contenant notablement d'eau ou d'acide carbonique; 2° transformé la houille en coke lorsqu'elle est trop bitumineuse ou trop sujette à décrépiter pour être employée à l'état brut; 3° chauffé l'air pour avoir une très-haute température dans la zone de fusion, immédiatement au-dessus des tuyères; 4° assuré la permanence et la régularité du travail, par la solidité et la bonne installation de tous les appareils.

Le *minerai de Cleveland* fait partie du lias; il est argileux : le minerai cru contient après dessiccation :

	p. 100.
Protoxyde de fer	33 à 40
Peroxyde de fer	2 à 7
Acide carbonique	20 à 25
Silice	10 à 15
Alumine	10 à 15
Chaux	5 à 8
Magnésie	3 à 4
Acide phosphorique	1 à 1 1/2

Soit 26 à 33 p. 100 de fer métallique; par calcination la teneur en fer est portée à 37 ou 40 p. 100 de minerai bon à fondre.

Le *combustible* est le coke de *South-Durham*, contenant :

	p. 100.
Carbone	85 à 92
Cendres	4 à 12
Soufre	1/4 à 2

La *castine* est du calcaire cru ou cuit, provenant surtout de la chaîne *Pennine;* le calcaire brut renferme 87 à 96 p. 100 de carbonate de chaux.

Pour produire une tonne (*) de fonte grise de moulage avec le minerai de Cleveland, employé seul sans adjonction ni de minerais étrangers ni de scorie de forges, on consomme de 950 à 1.400 kil. de coke et de 500 à 700 kilog. de castine; ces chiffres varient avec la fusibilité et la richesse du minerai, la qualité du coke et du fondant, la température du vent et la capacité du fourneau, ainsi que la régularité du travail.

L'un des deux fourneaux décrits a marché avec une consommation dont les chiffres principaux sont inscrits au tableau suivant : le relevé exclut les six premières semaines à partir de la mise en feu; la moyenne résulte d'une période de plus de six mois consécutifs; les minimum et maximum sont des périodes d'une semaine.

(*) C'est à la tonne métrique de 1.000 kilogrammes que sont toujours ici rapportées les consommations exprimées en kilogrammes; le calcul est fait en prenant pour le quintal anglais le vingtième de la tonne anglaise. La tonne anglaise de 1.015k,6 est conservée dans les nombres ronds, donnant des valeurs absolues. L. M.

HAUT FOURNEAU N° 6.

Consommation par tonne de fonte grise de moulage.

	MINIMA. kilog.	MAXIMA. kilog.	MOYENNE. kilog.
Minerai de Cleveland grillé.	2.208	2.402	2.305,5
Coke de South-Durham.	939	1.106	1.017,5
Castine.	517,5	563	535,5

La production moyenne par semaine a été de 430 tonnes de fonte; celle maxima 466 tonnes (*).

Comparons sommairement ces résultats avec ceux obtenus dans des fourneaux plus anciens, de moindre capacité, mais traitant les mêmes matières :

	DATES.	CAPACITÉ.	TEMPÉRATURE du vent aux tuyères.
		p. c. m. c.	degrés.
Trois hauts fourneaux construits par l'auteur à South-Bank.	1854	5.079=144	650 à 800 F.
Cinq hauts fourneaux.	1863-64	16.000=453	près de 1.100 F.
Les deux hauts fourneaux de Newport.	1870	30.085=852	1.100 F.

Les consommations en combustible et fondant sont, dans les deux derniers fourneaux, d'environ 15 p. 100 au-dessous de celles des cinq fourneaux de 1863-64; le rapport des capacités des deux types est voisin de 2 : 1.

Le type de 1854 consommait par tonne de fonte grise 1.600 à 2.000 kilog. de coke et 700 à 750 kilog. de castine; le vent était beaucoup moins chaud; la production de 120 à 160 tonnes seulement.

Le grillage préalable du minerai de Cleveland dans les fours de l'usine de Newport, où l'on cuit aussi la castine, exige par tonne de fonte produite 197 kilog. de houille; si l'alimentation est régulière, ce chiffre descend à 175 kilog.

Disposition de l'usine. — Toutes les matières premières arrivent à l'est de l'usine; les wagons dont le poids brut varie de 10 à 17 tonnes descendent par une pente douce jusqu'à un élévateur à vapeur qui les porte à un niveau supérieur à la bouche des fours de grillage et des trémies à coke. Les wagons sont à fonds mobiles; le minerai, le calcaire et le charbon en proportions convenables

(*) Depuis la rédaction de ce mémoire, la production par semaine a atteint 490 à 500 tonnes de fonte.

tombent directement dans les fours. Le coke est reçu de même dans des trémies dont le fond est muni de trappes et glissières pour le remplissage des brouettes. Au sortir des fours, les produits grillés sont tirés au râteau dans d'autres brouettes et portées au gueulard, ainsi que les précédentes, par un monte-charge à vapeur.

Le laitier coule du fourneau dans des boîtes sur trucs qui sont enlevés par une locomotive.

La fonte coulée quatre fois en vingt-quatre heures est relevée de l'aire, chargée sur des trucs et emmenée par un chemin de fer qui s'aiguille sur la ligne du North-Eastern, et va aussi à l'amont de l'usine border un quai sur la rivière Tees; ce quai d'embarquement est la propriété de l'usine; on peut y charger des navires de 600 à 800 tonneaux.

Les wagons, vidés au niveau supérieur des fours de grillage, sont descendus par poulie et frein à l'ouest de ce niveau, en sorte que pour tous les wagons, vides ou pleins, la circulation se fait de l'est à l'ouest en toute sécurité et avec grande économie.

Il y a quatre machines soufflantes réunies dans un seul bâtiment à l'est des hauts fourneaux; immédiatement au sud de ce bâtiment sont huit chaudières qui alimentent la soufflerie, l'élévateur et la petite machine du monte-charge.

Les machines soufflantes communiquent toutes avec le réservoir tubulaire horizontal d'où l'air froid est distribué aux appareils de chauffage. La température de l'air y est portée à 1.250° F. (676° C.); ce qui assure aux tuyères 1.100° F. (600° C.). Des étuves l'air chaud se rend au réservoir spécial et de là aux tuyères.

Chaque gueulard est fermé par une cloche et trémie, et les gaz descendent par des tuyaux verticaux sous une voûte en briques souterraine, d'où ils sont répartis aux appareils à chauffer l'air et aux chaudières. Ces gaz y constituent le seul combustible consommé, sauf dans le cas d'arrêt.

On emploie dans le travail courant cinquante-deux ouvriers pendant le jour et vingt-cinq pendant la nuit; soit soixante-dix-sept hommes par vingt-quatre heures; d'où il ressort par homme un transport de 11 tonnes de matériaux de toute sorte, y compris le laitier, et une production de 1^t,55 de fonte.

[*Extrait d'un mémoire de* M. BERNHARD SAMUELSON M. P. *lu à la Société des ingénieurs civils de Londres, le* 2 *mai* 1871, *et inséré au* vol. XXXII *des* Proceedings of the Institution of civil Engineers (*publiés par* M. James Forrest, *secrétaire*)].

L. M.

Sur la fabrication des produits chimiques dans la province de Namur (Belgique).

Les tableaux suivants résument quelques chiffres relatifs à la marche des quatre fabriques de produits chimiques d'Auvelais, de Floreffe, de Moustier et de Risle, pendant la période de sept mois du 1er septembre 1870 au 31 mars 1871.

Ces chiffres ont surtout pour but de montrer l'importance des pertes en vapeurs sulfureuses, nitreuses et chlorhydriques effectuées dans les fabriques indiquées. Le travail dont ils sont extraits avait été demandé à l'auteur par M. le ministre de l'intérieur, afin d'apprécier les effets de ces vapeurs sur la salubrité, et de constater les progrès qui avaient été faits dans le but d'atténuer ces effets.

I. — *Fabrication de l'acide sulfurique.*

FABRIQUE.	Pyrite consommée.	Soufre total contenu dans la pyrite consommée.	Soufre total brûlé.	Acide sulfurique à 60 degrés produit.	Rendement en acide sulfurique pour 100 de soufre brûlé.	Perte sur le rendement théorique (392,62).	Nitre total consommé.	Nitre consommé pour 100 de soufre brûlé.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.			kilog.	
Auvelais . .	3.570.460	1.303.218	1.149.688	3.962.859	344,7	47,9	104.119	9,05
Floreffe. . .	1.920.000	"	553.563	1.930.000	361,88	30,74	59.500	10,74
Moustier. .	1.947.120	727.130	623.426	2.692.872	335,7	56,9	53.314	8,55
Risle. . . .	3.305 664	»	983.507	3.466.073	350,63	40,99	117.184	11,85

II. — *Condensation de l'acide chlorhydrique.*

FABRIQUE.	SEL décomposé.	ACIDE chlorhydrique total recueilli.	ACIDE chlorhydrique recueilli pour 100 de sel décomposé.	CAPACITÉ MOYENNE des appareils condenseurs par 100 kil. de sel décomposé en 24 heures.	
				Réfrigérants.	Tour.
	kilog.	kilog.		mètres cubes.	mètres cubes.
Auvelais.	1.755.630	2.047.769	116	0,893	3,333
Floreffe.	1.666.300	2.174.510	130	0,848	1,373
Moustier.	1.563.150	1.676 430	123	4,005	
Risle.	2.137.962	1.481.550	69	0,919	2,371

La quantité de sel consommée a à peu près doublé de 1854 à 1870, et comme on a réussi, par une condensation perfectionnée, à diminuer les pertes de moitié environ, il en résulte que la masse de gaz nuisible rejetée dans l'atmosphère est restée à peu près constante.

[*Extrait d'un rapport de* M. J. Chandelon, *professeur à l'Université de Liége* (publié dans les *Annales des travaux publics de Belgique*, t. XXIX, p. 449); *par* M. A. Henry, *ingénieur des mines.*]

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

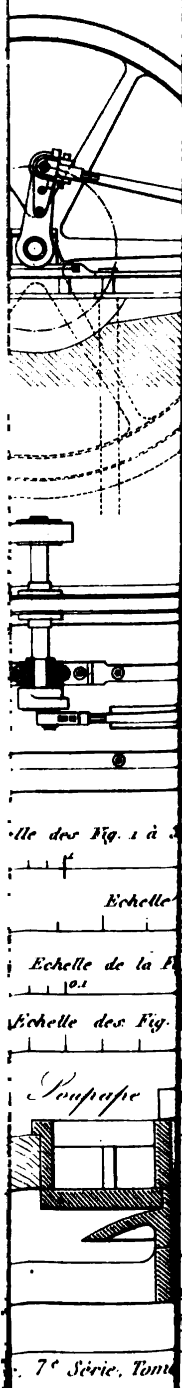
MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

CHIMIE.

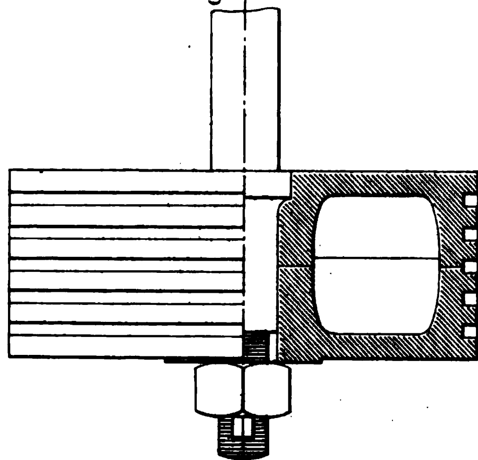
§ IV. — Reproduction des minéraux.

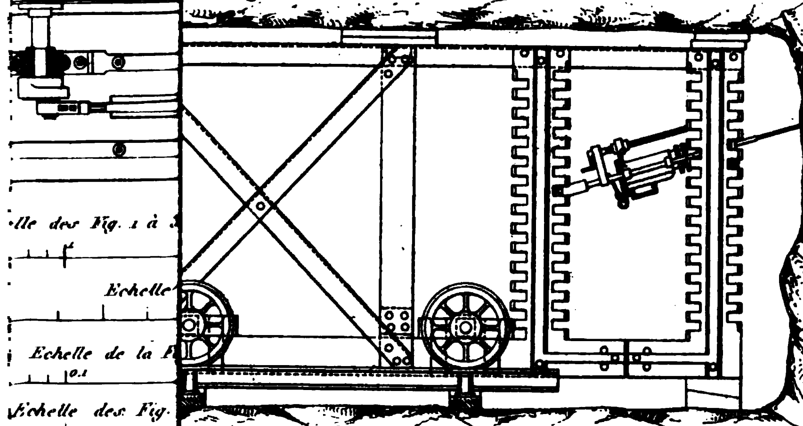
OBJETS DIVERS.

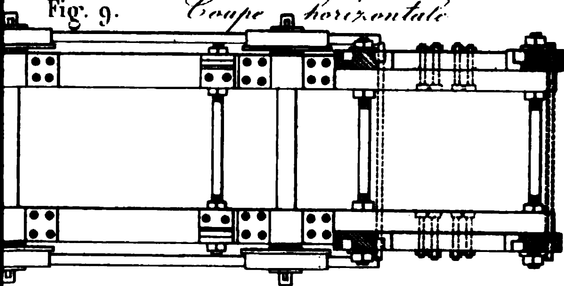
L'*Éditeur-Gérant* : Dunod. — 1248 — Paris. — Imp. Gusset et Cᵉ.



Détails du Piston compresseur

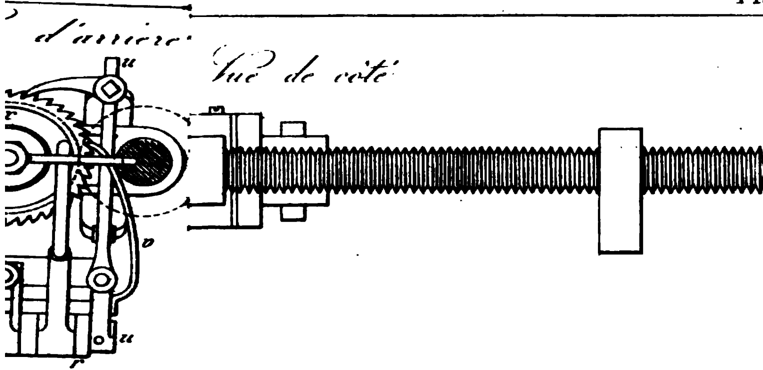


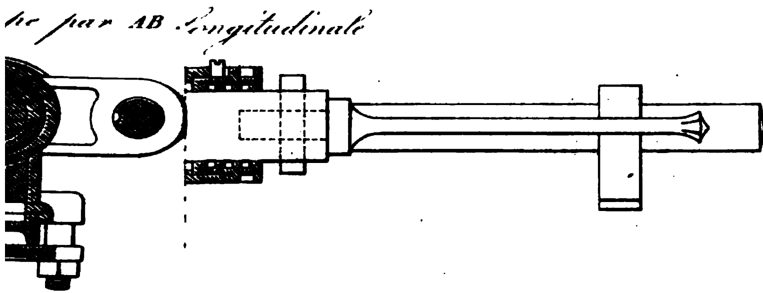


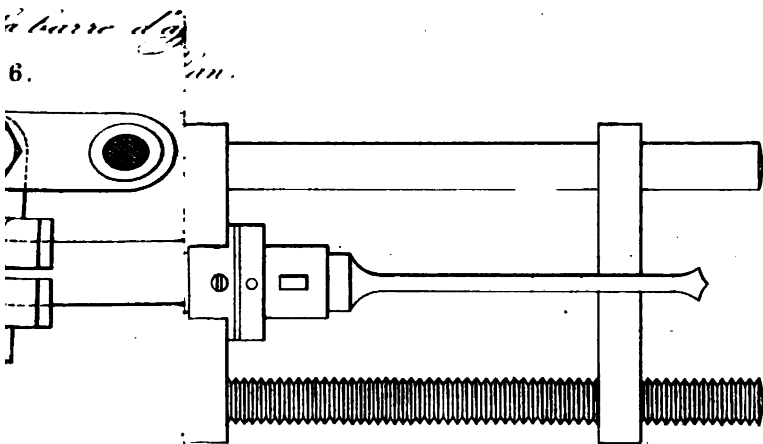


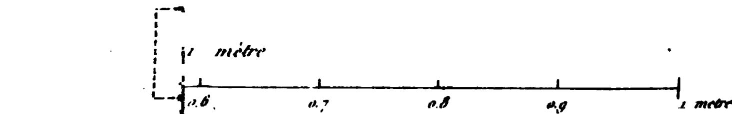
Lemaitre del et sc





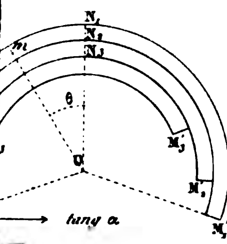




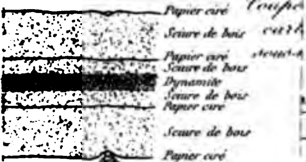


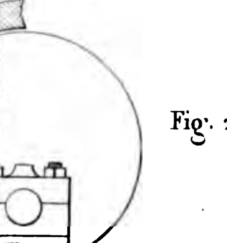
Lemaitre del. et sc.



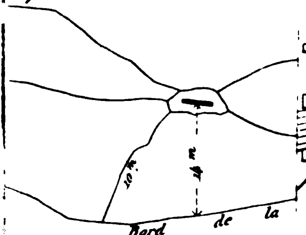








d'une explosion
oyen d'un boudin.



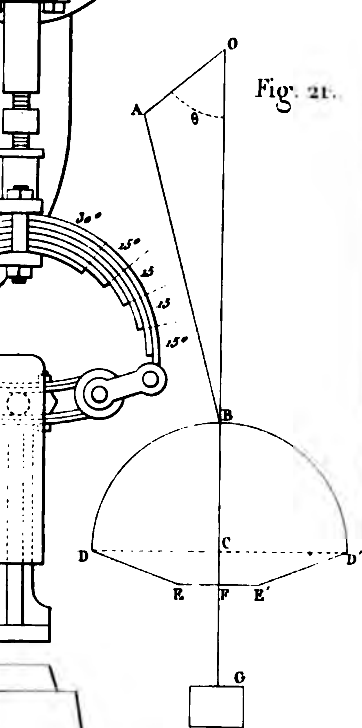


Fig. 18. Autre

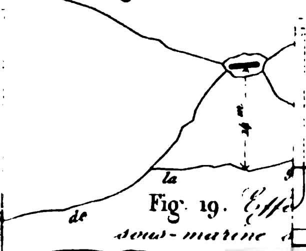
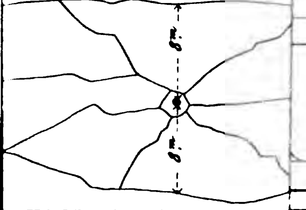
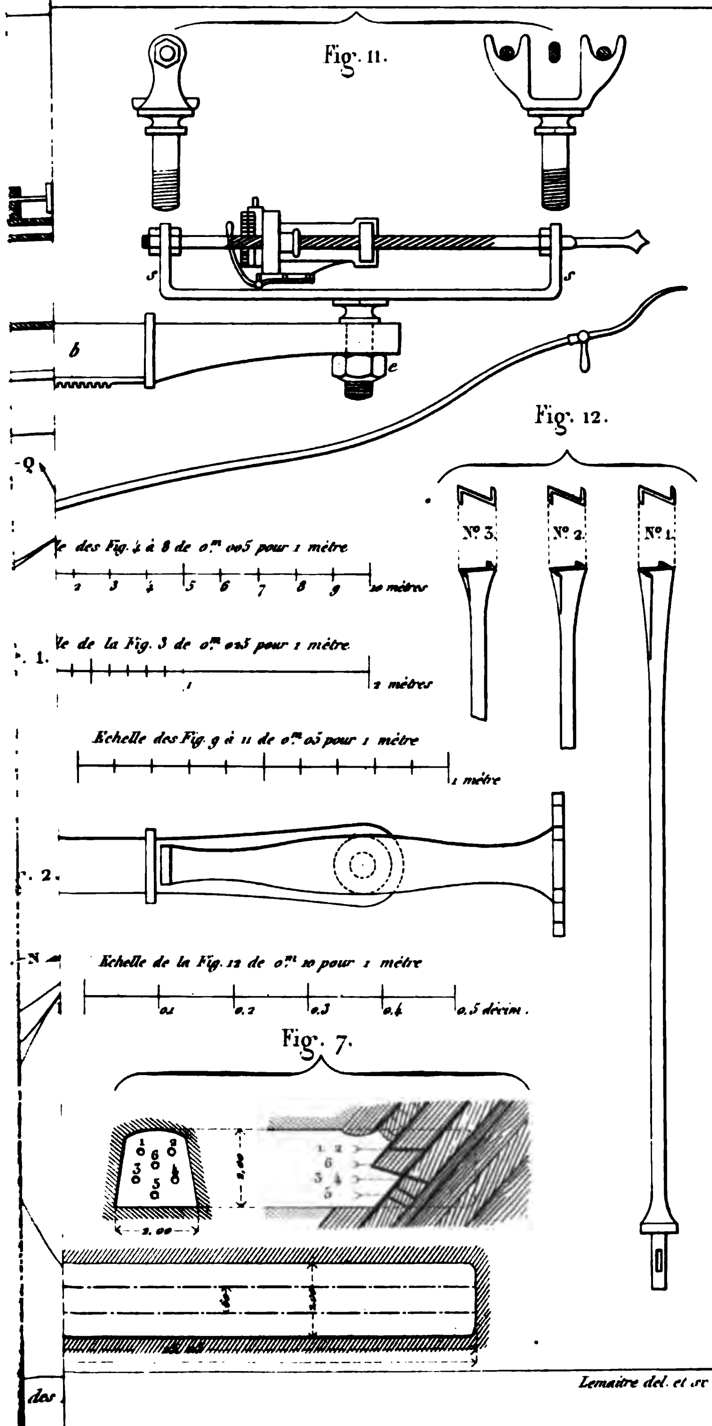


Fig. 19. Effe
sous-marine



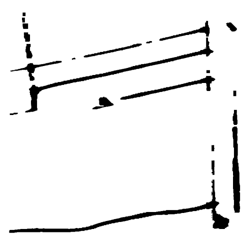
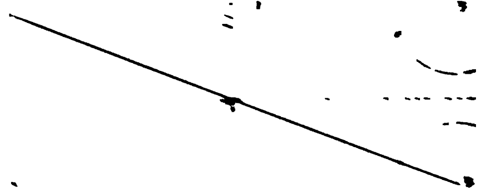
Lemaitre del. et sc.

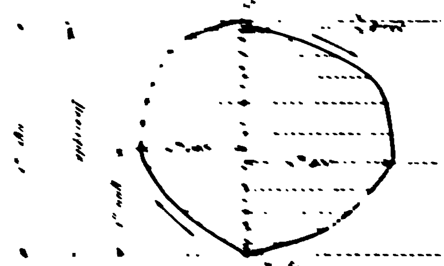
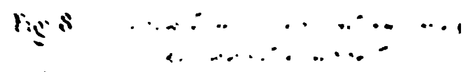
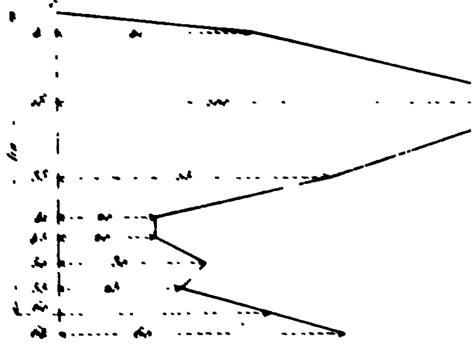
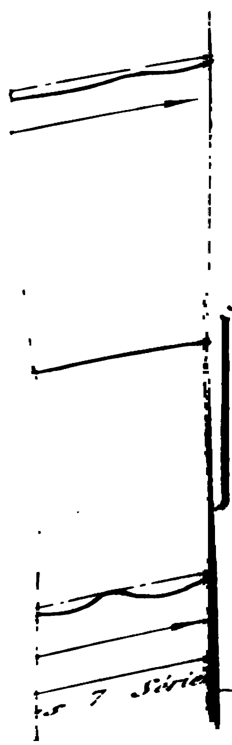
Pl. IV.



Lemaitre del. et sc.

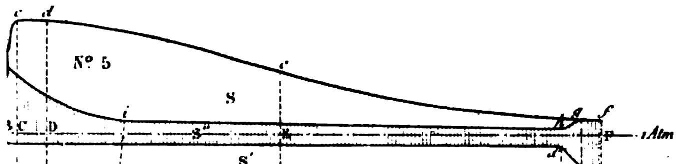





Fig. 8



3.

Nº 4.



Retard dans la fermeture des clapets de refoulement. Remonte de la maitresse tige sous l'action de la vapeur comprimée en dessous du piston.

(2) La pression devient suffisante pour enlever les tiges.

(3) Admission pleine

(4) Le piston monte plus vite que n'afflue la vapeur

(5) Détente

Retard dans la fermeture des clapets d'aspiration (6)

La pression d'equilibre s'établit (7)

Equilibre (8)

(9) Fermeture anticipée de la soupape d'équilibre

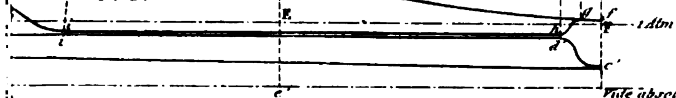
La pression devient celle du condenseur

(11) Elle se maintient telle pendant toute l'ascension

La pression qui était celle du condenseur devient la pression d'equilibre (12)

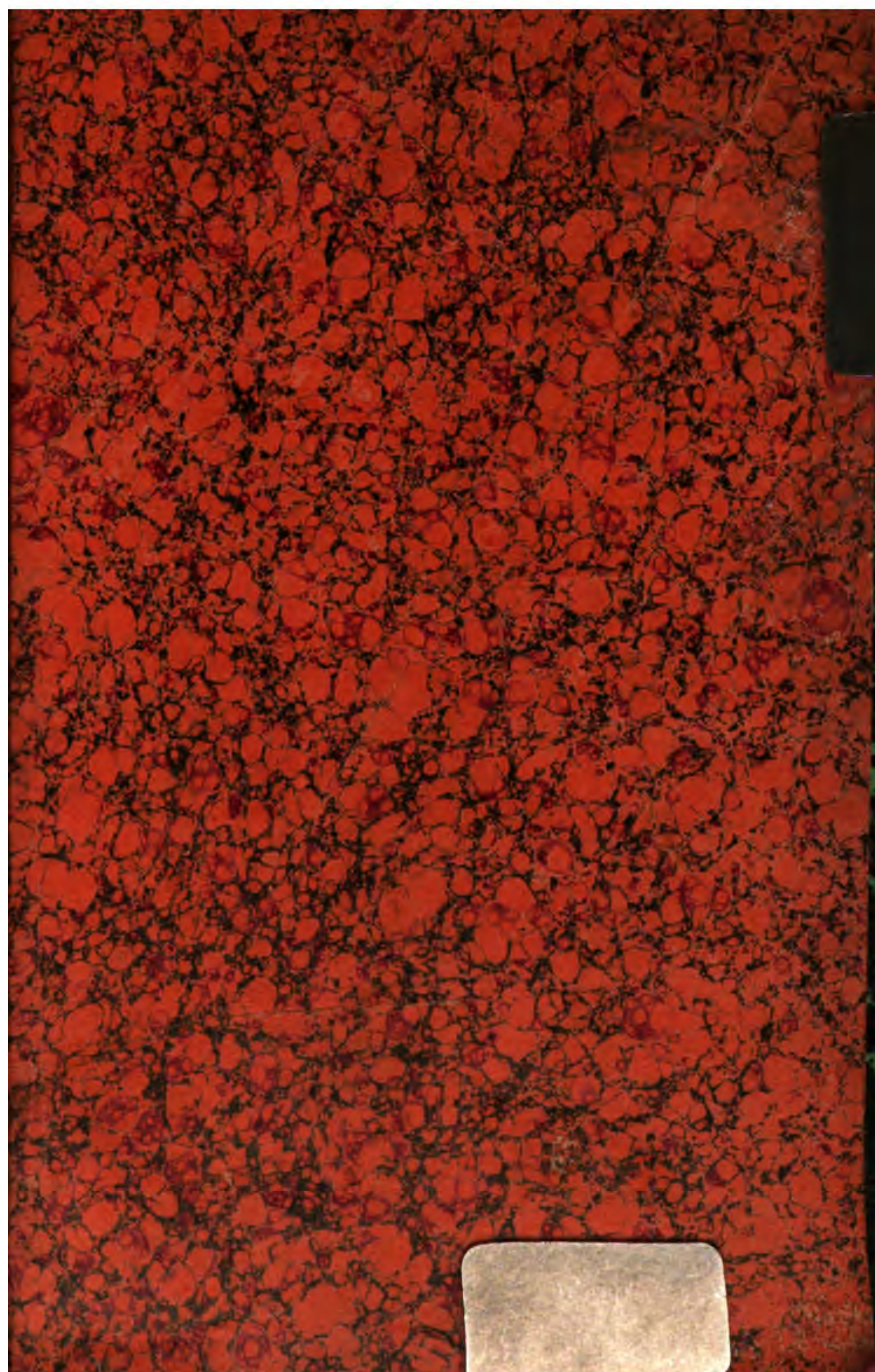
Elle se maintient telle pendant toute la descente (13)

Fig. 10. *Diagramme relevé sur la machine du nord de Charleroi pourvu de l'appareil Bochkoltz*



Lemaitre del. et sc.





Appareil Bochkoltz à poids oscillants

Fig. 6.

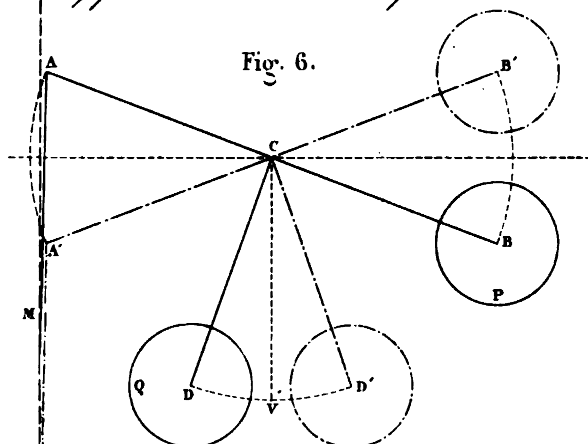


Fig. 7. Courbes montrant les variations de vitesse de la maîtresse tige.

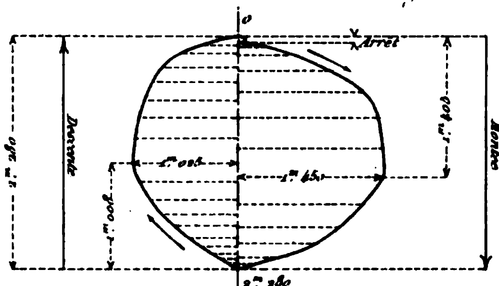
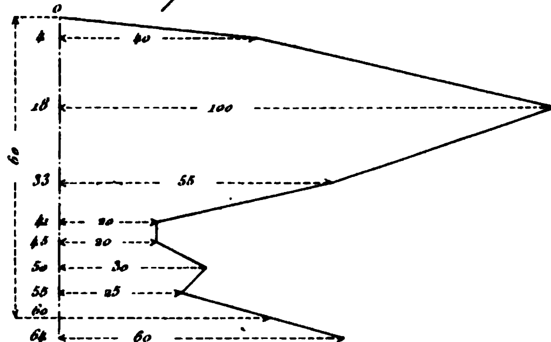
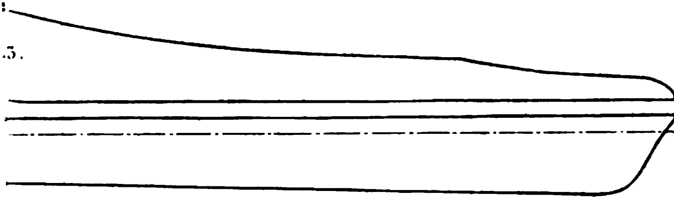


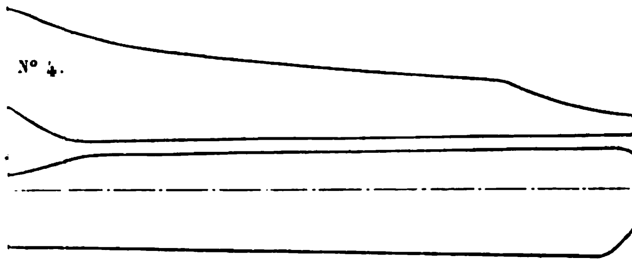
Fig. 8. Variations de la vitesse moyenne pendant l'arrêt.

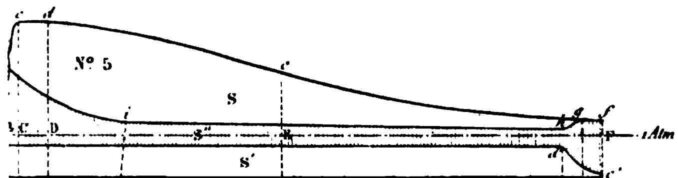


Lemaitre del. et sc.









Retard dans la fermeture des clapets de refoulement Remonte de la maitresse tige sous l'action de la vapeur comprimée en dessous du piston.

(2) *La pression devient suffisante pour enlever les tiges.*

(3) *Admission pleine*

(4) *Le piston monte plus vite que n'afflue la vapeur*

(5) *Détente*

Retard dans la fermeture des clapets d'aspiration (6)

La pression d'equilibre s'établit (7)

Equilibre (8)

(9) *Fermeture anticipée de la soupape d'équilibre*

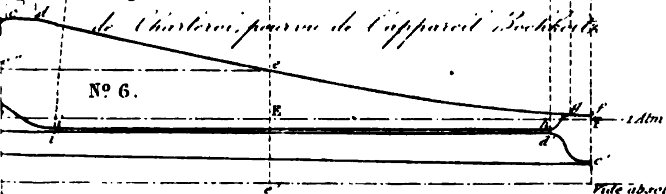
La pression devient celle du condenseur

(11) *Elle se maintient telle pendant toute l'ascension*

La pression qui était celle du condenseur devient la pression d'équilibre (12)

Elle se maintient telle pendant toute la descente (13)

ig. 10. *Diagramme relevé sur la machine du nord de Charleroi, pourvu de l'appareil Bochkoltz*



Lemaitre del. et sc.







